

ISSN 2313-4372

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ВЫПУСК 2

Т Р У Д Ы

Поволжского государственного технологического университета

Серия Технологическая



Йошкар-Ола
2014

УДК 62
ББК 3
Т 78

Ответственный и научный редактор сборника

проректор ПГТУ по научной работе и инновационной деятельности, профессор, доктор физико-математических наук
Д. В. Иванов

Редакционная коллегия серии:

Е. М. Романов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
В. А. Иванов, доктор физико-математических наук, профессор
Ю. А. Ширнин, доктор технических наук, профессор
Ю. Б. Грунин, доктор химических наук, профессор
Н. В. Рябова, доктор физико-математических наук, профессор
А. А. Роженцов, доктор технических наук, профессор
И. Г. Сидоркина, доктор технических наук, профессор
В. Г. Котлов, кандидат технических наук, доцент
А. Г. Турлов, кандидат технических наук, доцент

Труды Поволжского государственного технологи-
Т 78 **ческого университета. Сер.: Технологическая. Вып. 2**
[Текст] / отв. и науч. ред. Д. В. Иванов. – Йошкар-Ола:
Поволжский государственный технологический универ-
ситет, 2014. – 344 с.

ISBN 978-5-8158-1398-4

В ежегодном периодическом издании представлены статьи ученых, преподавателей, докторантов, аспирантов, студентов и сотрудников ПГТУ, в которых рассматривается широкий круг актуальных вопросов, охватывающих различные научные направления.

УДК 62
ББК 3

ISBN 978-5-8158-1398-4

© Поволжский государственный
технологический университет, 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ



Поволжский государственный технологический университет является одним из ведущих научно-образовательных центров Поволжья. Планомерная работа руководства университета по развитию научной и инновационной деятельности способствует повышению рейтинга вуза и оценки эффективности его работы. На сегодняшний день в целях создания, продвижения и практической реализации результатов научно-исследовательской деятельности созданы и работают 24 малых инновационных предприятия с участием университета, эффективно функционируют ведущие научно-технологические центры и научно-исследовательские лаборатории: бизнес-инкубатор, центр автоматизированного машиностроения, студенческое конструкторское бюро, центр коллективного пользования, ботанический сад-институт, центр инжиниринга и промышленного дизайна в лесном комплексе и энергетике «Биоэнергия», центр устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов, 7 научно-исследовательских лабораторий, созданных совместно с институтами РАН, и другие.

Одним из важнейших мероприятий по презентации и обсуждению результатов фундаментальных и прикладных исследований ученых вуза, а также способствующих развитию творческой активности молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов является ежегодно проводимая в университете научная конференция «Исследования. Технологии. Инновации».

Каждый год по ее итогам выпускаются «Труды Поволжского государственного технологического университета», включающие две серии: технологическую и социально-экономическую. Это своеобразная научная визитная карточка вуза. Здесь публикуются статьи ученых, преподавателей, докторантов, аспирантов, студентов и сотрудников ПГТУ, где представлены результаты авторских исследований, научно-технических разработок в интересах решения конкретных научных, а также прикладных задач и проблем. В публикуемых материалах рассматривается широкий круг актуальных вопросов, охватывающих различные области научного знания.

Данная серия сборника – Технологическая. В ней представлены статьи по следующим направлениям научных исследований:

- лес, экология, природопользование;
- радиотехнические, инфокоммуникационные и медико-биологические системы;
- транспорт, энергетика, машиностроение;
- технологии и оборудование лесопромышленных и деревообрабатывающих производств;
- строительство и архитектура;
- биологические и естественные науки, инженерия окружающей среды.

Д. В. Иванов

*проректор ПГТУ по научной работе и инновационной деятельности,
доктор физико-математических наук, профессор,
ответственный и научный редактор сборника*

ЛЕС. ЭКОЛОГИЯ. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 581.143.6; 579.69

ЭНДОФИТНЫЕ МИКРООРГАНИЗМЫ *POPULUS TREMULA* L.

**Большакова Екатерина Евгеньевна, Пачкунов Дмитрий Михайлович,
Шургин Алексей Иванович**

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
BolshakovaEE@volgatech.net

Рассмотрена эндофитная микрофлора деревьев Populus tremula L. Выделены ассоциированные с Populus tremula L. штаммы микроорганизмов и проведена их идентификация.

Ключевые слова: эндофитные микроорганизмы, *Populus tremula* L.

Введение. Непрерывно растущий спрос на древесину заставляет задуматься о необходимости повышения продуктивности насаждений и сокращения сроков выращивания лесов. Одним из путей решения вышеизложенных проблем может стать плантационное выращивание быстрорастущих и хозяйственно ценных генотипов *Populus tremula* L. [1, 2].

Использование биотехнологий позволяет наиболее эффективно осуществлять процесс создания лесных плантаций. Одним из приоритетных направлений развития лесных биотехнологий является разработка микробиологических биопрепаратов [3]. В настоящее время биопрепараты активно используются в сельском хозяйстве, однако применение их в лесном хозяйстве сильно отстает.

Известно, что ассоциированные микроорганизмы могут повышать устойчивость и продуктивность деревьев за счет возможности фиксации азота [4, 5], способности продуцировать гормоны роста (ИУК, цитокинины) и защищать растения от биотических и абиотических стрессов [6]. Кроме того, эндофиты могут принимать участие в биодеградации загрязняющих веществ и, таким образом, ликвидировать последствия вредного воздействия на окружающую среду [7]. В связи с этим эндофитные микроорганизмы привлекают интерес ученых, работающих в сфере лесных биотехнологий [5, 7].

Цель работы – разработать методику выделения эндофитных микроорганизмов *Populus tremula* L. и провести их идентификацию

Решаемые задачи: 1) выделить эндофитные микроорганизмы из различных частей деревьев (побеги, листья, культура тканей *in vitro*) *Populus tremula* L.; 2) изучить морфолого-физиологические свойства выделенных микроорганизмов; 3) провести идентификацию микроорганизмов с помощью метода МАЛДИ времяпролетной масс-спектрометрии.

Техника эксперимента. Выделение ассоциированных с растениями микроорганизмов проводили из листьев, побегов и микрорастений *Populus tremula* L.

Выделение эндофитов из листьев *Populus tremula* L. Листья *Populus tremula* L. подвергали поверхностной стерилизации. Для этого растительный материал промыва-

ли проточной водой с применением моющих средств. Дальнейшие манипуляции проводили в стерильных условиях. Листья последовательно выдерживали: в 70% спирте (время экспозиции 30 с) и в 5% растворе лизоформина 3000 (время экспозиции 5 мин.) с последующей пятикратной промывкой в стерильной дистиллированной воде.

Эффективность стерилизации оценивали следующим образом: простерилизованные листья прикладывали к поверхности плотной питательной среды Nutrient и культивировали чашки при $t = 25^{\circ}\text{C}$ не менее 3 суток. Отсутствие бактериального роста означало поверхностную стерильность листьев.

Поверхностно стерильные листья растирали в стерильной ступке с добавлением 500 мкл стерильного физиологического раствора. По 100 мкл полученной суспензии высевали на плотную питательную среду Nutrient. Посевы культивировали при $t = 25^{\circ}\text{C}$. На третьи сутки культивирования различные по морфологии колонии пересевали на свежие питательные среды.

Выделение эндофитов из микрорастений *Populus tremula* L. Микрорастения, выращенные в стерильных условиях на агаризованной питательной среде MS [2], поверхностно стерилизовали путем последовательного выдерживания в стерилизующих растворах (см.: Выделение эндофитов из листьев *Populus tremula* L.). Колонии эндофитных микроорганизмов получали вышеуказанным способом.

Выделение эндофитов из побегов *Populus tremula* L. Одревесневшие многолетние побеги *Populus tremula* L. промывали проточной водой с применением моющих средств. Дальнейшую стерилизацию проводили в асептических условиях. Побеги обрабатывали 70% раствором спирта. Далее на побег накладывали ватные тампоны, смоченные в 10% растворе лизоформина 300 (время экспозиции 10 мин.). Раствор многократно смывали стерильной дистиллированной водой.

Эффективность стерилизации оценивали следующим образом: 100 мкл последнего смыва высевали на чашку Петри с плотной питательной средой Nutrient и культивировали чашки при $t = 25^{\circ}\text{C}$ не менее 3 суток. Отсутствие микробного роста означало поверхностную стерильность побегов.

С помощью стерильной пилы асептически разрушали побег *Populus tremula* L., полученные опилки заливали 5 мл стерильного физиологического раствора. Пробирки с суспензией оставляли на 2-3 часа. Далее 100 мкл суспензии высевали на плотную питательную среду Nutrient. Посевы культивировали при $t = 25^{\circ}\text{C}$. На третьи сутки культивирования выращенные колонии пересевали на плотную питательную среду.

Изучение морфолого-физиологических свойств выделенных микроорганизмов производили с помощью фиксированных мазков, окрашенных по Граму.

Идентификацию микроорганизмов проводили с помощью метода МАЛДИ время-пролетной масс-спектрометрии. Экстрагирование белков осуществляли этанолом и муравьиной кислотой по прилагаемой к прибору инструкции.

Интерпретация результатов и их анализ. Из микрорастений, выращенных в стерильных условиях на агаризованной питательной среде MS [2], было выделено три штамма микроорганизмов; из листьев и побегов *Populus tremula* L. – по одному штамму. В таблице перечислены все выделенные из осины эндофиты.

Эндофитные микроорганизмы, выделенные из *Populus tremula* L.

Штаммы	Источник штамма
PR1	Лист <i>Populus tremula</i> L.
PB2	Микрорастения <i>Populus tremula</i> L.
PP3	
PY4	
PW1	Побег <i>Populus tremula</i> L.

Штамм PR1. На поверхности плотной питательной среды штамм PR1 образует кораллово-красные, круглые, гладкие колонии. В результате идентификации штамм PR1, выделенный из листа *P. tremula* L., был отнесен к роду одноклеточных дрожжей *Rhodotorula*.

Виды одноклеточных дрожжей *Rhodotorula* – повсеместно обитающие, сапрофитные микроорганизмы. Представители этого рода заселяют многие растения, в том числе тополя. Два новых вида дрожжей *Rh. graminis* и *Rh. mucilaginoso* были выделены из *Populus trichocarpa* [5]. Исследования эндофитных дрожжей *Rhodotorula* показали, что они обладают стимулирующей рост растений активностью [5, 8]. Кроме того, *Rhodotorula rubra* штамм TG-1 проявляет антагонистическую активность в отношении таких патогенов растений, как *Fusarium* и *Xanthomonas malvacearum*. Таким образом, эндофиты рода *Rhodotorula* имеют большой потенциал в качестве биоудобрений и агентов биоконтроля [8].

Штамм PB2. На поверхности плотной питательной среды штамм PB2 образует непигментированные, круглые, гладкие колонии. Процедура стандартного окрашивания выявляет грамположительные мелкие палочки. Идентификация с помощью метода МАЛДИ времяпролетной масс-спектрометрии не дала ожидаемых результатов. Исследуемый штамм не был найден в базах данных. Поэтому определение вида данного штамма остается предметом дальнейших исследований.

Штамм PP3. На поверхности плотной питательной среды штамм PP3 образует розово-пигментированные, мелкие, круглые колонии, характеризующиеся медленным ростом. Процедура стандартного окрашивания выявляет грамотрицательные, неспорообразующие бактерии. В результате идентификации штамм PP3 был определен и отнесен к роду *Methylobacterium*

Род *Methylobacterium* включает исключительно аэробные, факультативные метилотрофные, грамотрицательные, палочковидные бактерии, которые характеризуются способностью усваивать такие субстраты, как метанол или метиламин. Представители рода *Methylobacterium* были выделены из культуры тканей гибридного тополя (*Populus deltoides*×*nigra* DN34). Показано, что чистая культура бактерий *Methylobacterium populi* BJ001T способна в короткие сроки деградировать токсичные соединения. Вследствие этого эндофиты данного рода можно использовать для предотвращения вредных последствий от воздействия загрязняющих веществ на окружающую среду [7]. Таким образом, штаммы *Methylobacterium* представляют значительный интерес для разработки биопрепаратов для фиторемедиации.

Штамм PY4. На поверхности плотной питательной среды штамм PB2 образует желтые морщинистые, а иногда и гладкие колонии среднего размера. Микроорганизмы были идентифицированы и отнесены к роду *Pseudomonas*.

Представители рода *Pseudomonas* являются одной из основных групп эндофитных сообществ. Некоторые штаммы псевдомонад, такие как *P. putida* KT2440, способны продуцировать метаболиты, которые стимулируют рост и являются антагонистами возбудителей заболеваний растений, а также трансформируют загрязняющие вещества [9]. Таким образом, эндофитные псевдомонады также являются перспективным объектом биотехнологии.

Штамм PW1. На поверхности плотной питательной среды штамм PW1 образует не окрашенные, сухие, морщинистые колонии. Под микроскопом видны крупные, одиночные дрожжевые клетки. Штамм PW1, как и штамм PB2, не удалось идентифицировать по причине отсутствия в базе данных информации о данном микроорганизме. Идентификация штамма PW1 проводится нами в настоящее время.

Выводы

1. Разработана методика выделения эндофитных микроорганизмов из различных частей деревьев (побеги, листья, культура тканей *in vitro*) *Populus tremula* L. Выделены 5 штаммов эндофитов.

2. Изучены морфолого-физиологические свойства выделенных штаммов.

3. Проведена идентификация микроорганизмов, в результате которой штамм PR1 был отнесен к роду одноклеточных дрожжей *Rhodotorula*, штамм PP3 – к роду *Methylobacterium*, штамм PB2 – к роду *Pseudomonas*.

В статье представлены первые результаты по идентификации выделенных штаммов. В перспективе планируется продолжить исследования в этом направлении: детально изучить эффективность выделенных эндофитов в отношении их способности повышать продуктивность и устойчивость растений к неблагоприятным факторам окружающей среды, а также биodeградировать загрязняющие вещества.

Список литературы

1. Сергеев Р.В., Шургин А.И. Изучение влияния минерального и гормонального состава среды на размножение *in vitro* генотипов ивы с повышенным содержанием биологически активных веществ // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2010. № 2. С. 93-99.

2. Влияние гормонального состава питательной среды на индукцию органоогенеза триплоидных растений *Populus tremula* в культуре *in vitro* / Е.Е. Большакова [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. Т. 90, № 90-90 (10). С. 181-190.

3. Комплексная программа развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 года» («БИО-2020») // Официальный Интернет-ресурс Министерства экономического развития Российской Федерации. 2014. URL: http://www.economy.gov.ru/minec/activities/sections/innovations/development/doc20120427_06 (дата обращения: 07.04.2014).

4. Влияние ассоциативных микроорганизмов на устойчивость томатов к фитопатогенам *in vitro* и *in vivo* / Н.С. Захарченко [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2010. № 1. С. 175-185.

5. Bacterial and yeast endophytes from poplar and willow promote growth in crop plants and grasses / Z. Khan [et al.] // SRN Agronomy. 2012. Vol. 2012. 11 p.

6. Redman R.S., Kim Y.O., Woodward C.J.D.A. Increased fitness of rice plants to abiotic stress via habitat adapted symbiosis: a strategy for mitigating impacts of climate change // *PLoS ONE*. 2011. Vol. 6, № 7. 10 p.

7. *Methylobacterium oliveri* sp. nov.: A novel aerobic, pink-pigmented, facultatively methylotrophic, methane-utilizing bacterium isolated from poplar trees (*Populus deltoides* × *nigra* DN34) / B. Van Aken [et al.] // *Int J Syst Evol Microbiol*. 2004. Vol. 54(4). P. 1191-1196.

8. Akhtyamova N., Sattarova Rano. K. Endophytic Yeast *Rhodotorula rubra* Strain TG-1: Antagonistic and Plant Protection Activities // *Biochem Physiol*. 2013. Vol. 2, № 1. 5 p.

9. Nonmedical: *Pseudomonas* Prokaryotes / Edward R.B. Moore [et al.] // *Prokaryotes*. 2006. Vol. 6. P. 646–703.

ENDOPHYTE MICROORGANISMS *POPULUS TREMULA* L.

Bolshakova Ekaterina Evgen'evna, Pachkunov Dmitry Mikhailovich, Shurgin Alexei Ivanovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Endophyte strains are isolated from Populus tremula L. Isolate from Populus tremula L. was identified.

Keywords: endophytic microorganisms, *Populus tremula* L.

УДК 631.851+631.46

МИКРОФЛОРА ОКУЛЬТУРЕННЫХ ПОЧВЕННЫХ ПРОФИЛЕЙ

Гордеева Татьяна Харитоновна¹, Новоселов Сергей Иванович²

¹ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола

²ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет», Россия, Йошкар-Ола
GordeevaTH@volgatech.net

Приведены результаты исследований микробной биомассы и эколого-трофической структуры микробоценозов в дерново-подзолистой почве с учетом их распределения по почвенному профилю. Установлено преобладание бактериальной микрофлоры. Изменение микробиомассы связано с содержанием органического вещества. Доминирующей эколого-трофической группой среди прокариот являются бактерии, растущие на крахмалоаммиачном агаре, среде Эшби, почвенном агаре. Общей тенденцией является увеличение доли аммонифицирующих, олигонитрофильных и олиготрофных микроорганизмов с глубиной. Минорными компонентами микробиоценоза остаются микромицеты и спорообразующие бактерии.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва; профильное распределение; микрофлора; интенсивность микробиологических процессов; эколого-трофическая структура микробоценозов

Введение. Почва с экологических позиций для микроорганизмов представляет сложную, гетерогенную систему микросред с резко противоположными условиями даже в одном микролокусе. Эта специфика делает возможным одновременное протекание в почвах разнокачественных и прямо противоположных процессов. Микроорганизмы выполняют важные экологические функции, и прежде всего функцию стабилизации, участвуя в поддержании гомеостатического состояния в почвенной экосистеме. Большинство микроорганизмов, обитающих в почве, находится в адсорбированном состоянии. Адсорбцией определяется специфика распределения микроорганизмов в почве, в том числе микроочаговость, возможность удержания в определенном почвенном горизонте. По данным ряда авторов [1-3], распределение микроорганизмов по почвенным горизонтам обусловлено содержанием органического вещества (гумуса, растительных остатков), механическим составом, кислотностью и т. д. Большинство микробиологических исследований почвы сосредоточено на изучении ее верхнего слоя мощностью 20–25 см, наиболее интенсивно вовлекаемого в агроисследования. Глубокие слои почвы также играют важную роль в ее формировании и функционировании.

Цель работы – анализ вертикально-ярусного распределения микрофлоры в дерново-подзолистой почве.

Решаемые задачи: 1) исследование физико-химических и агрохимических показателей почвенных профилей дерново-подзолистой почвы; 2) определение величины микробной биомассы; 3) изучение эколого-таксономической структуры микробоценозов почвенного профиля дерново-подзолистой почвы.

Методика исследований. Исследование осуществляли на опытном поле Марийского государственного университета в полевом стационарном опыте.

Агрохимический анализ проводили в воздушно-сухих почвенных образцах [4]. Образцы почвы для микробиологического анализа отбирали по профилю из верхнего

почвенного горизонта с глубины 0-20 см и по почвенному разрезу послойно через каждые 20 см. Для учета основных эколого-трофических групп микроорганизмов использовали стандартные питательные среды. Общую микробную биомассу определяли методом регидратации [5].

Измерение всех параметров вели в 3-5-кратной повторности. Результаты анализа обрабатывали с помощью статистического пакета Statistica 6.0 методами базовой статистики, корреляционного и регрессионного анализа.

Результаты исследований. Почва стационарного полевого участка дерново-подзолистая среднесуглинистая малогумусная на опесчаненном бескарбонатном покровном среднем суглинке, с нейтральной реакцией почвенного раствора, низкой обеспеченностью гумусом, высоким содержанием доступного фосфора и повышенным содержанием обменного калия.

Агрохимическая характеристика почв при закладке стационарного опыта представлена в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Физико-химические показатели почв

Горизонт	Глубина, см	Плотность, г/см ³	pH _{сол}	Нг	S	V, %
				мг-экв/1000 г		
A пах.	0-25	1,36	5,8	18,8	100	84,1
A2B	25-58	1,49	5,5	28,3	102,2	78,3
B1	58-94	1,47	4,5	39,3	149,9	79,2
B2	94-155	1,50	4,5	22,0	195,8	89,9
C	155-170	1,61	4,2	14,1	60,8	81,2

Общая микробная биомасса варьирует в пределах 286,52-34,09 мкг С/г. Наибольшая микробная биомасса сосредоточена в пахотном горизонте. Изменение микробной биомассы связано с содержанием органического вещества, что подтверждается тесной положительной корреляционной зависимостью ($r = 0,75-0,87$). Наблюдается резкое сокращение микробной биомассы при переходе от пахотного слоя к нижележащим слоям и более плавное дальнейшее уменьшение. Различия между верхними и нижними горизонтами наиболее выражены по запасам микробной биомассы с учетом плотности, причем максимум суммарной биомассы сдвигается в верхний пахотный слой.

Таблица 2

Общая биомасса микроорганизмов и агрохимические показатели почв

Горизонт	Биомасса, мкг С/г	Гумус, %	Легкогидролизуемый азот, мг/кг	Подвижный фосфор, мг/кг	Подвижный калий, мг/кг	Общий азот, кг/га
A пах.	286,52	1,85	230	24,8	18,1	4994
A2B	114,6	0,59	189	13,5	16,2	2089
B1	57,3	0,59	81	9,6	11,9	1806
B2	34,09	0,28	81	10,1	11,9	1686
C	38,38	0,31	69	9,0	11,6	1557

Регрессионный анализ зависимости профильного распределения биомассы микроорганизмов от физико-химических свойств дерново-подзолистых почв выявил достоверные связи с реакцией почвенного раствора и плотностью почвы; от агрохимических свойств – с общим и легкогидролизуемым азотом, подвижным калием и гумусом (табл. 3).

Таблица 3

Регрессионные модели зависимости распределения биомассы микроорганизмов от физико-химических свойств и содержания биогенных элементов в дерново-подзолистой почве*

Уравнение регрессии	R ²	p
$M_6 = 68,176 C_{орг} - 1,825 N_{л-г} + 58,026 K_2O + 0,017 N_{общ}$	0,97	0,05
$M_6 = 1/0,069 + 0,009 d - 0,013 pH_{сол}$	0,94	0,05

M_6 – биомасса бактерий (мкг С/г); d – плотность, г/см³; $pH_{сол}$ – кислотность солевая; $N_{общ}$ – азот общий, кг/га; $N_{л-г}$ – азот легкогидролизуемый, мг/кг; K_2O – подвижный калий, мг/кг; $C_{орг}$ – гумус, %.

Анализ вертикально-ярусного распределения микроорганизмов в окультуренной дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве показал, что для этих почв характерно резкое снижение численности микрофлоры при переходе от пахотного горизонта к нижележащим слоям, а затем постепенное и равномерное ее снижение вниз по почвенному профилю, что обусловлено уменьшением содержания гумуса и питательных веществ (табл. 4).

Таблица 4

Профильное распределение микроорганизмов

Микроорганизмы	Глубина разреза, см								НСР _{0,5}
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	
Аммонифицирующие, млн кл./г абс. сухой почвы	17,6	5,4	2,7	2,7	2,1	1,2	1,2	1,2	1,2
Аминоавтотрофные, млн кл./г абс. сухой почвы	17,4	8,6	3,9	1,5	0,74	0,23	0,29	0,16	1,7
Олигонитрофильные, млн кл./г абс. сухой почвы	16,2	3,6	1,2	1,8	0,62	0,59	0,58	0,54	1,0
Олиготрофные, млн кл./г абс. сухой почвы	19,2	5,4	2,9	3,5	2,5	2,1	1,2	1,2	2,1
Актиномицеты, млн кл./г абс. сухой почвы	6,72	2,44	0,47	0,47	0,08	0	0	0	0,9
Гумусоразлагающие, млн кл./г абс. сухой почвы	10,1	2,9	2,1	0,9	0,9	0,9	0,4	0,3	0,9
Микромицеты, тыс. КОЕ/г абс. сухой почвы	102,8	72,0	30,8	8,7	1,7	0,8	1,5	1,1	4,3
Целлюлозоразрушающие, %	92,0	86,0	76,0	38,0	32,0	24,0	12,0	12,0	8,5
Азотфиксирующие, %	30,0	30,0	28,0	20,0	10,0	10,0	6,0	0	1,4
Спорообразующие, тыс. кл./г абс. сухой почвы	157,2	66,6	9,4	5,9	1,9	1,2	2,3	1,1	17,0

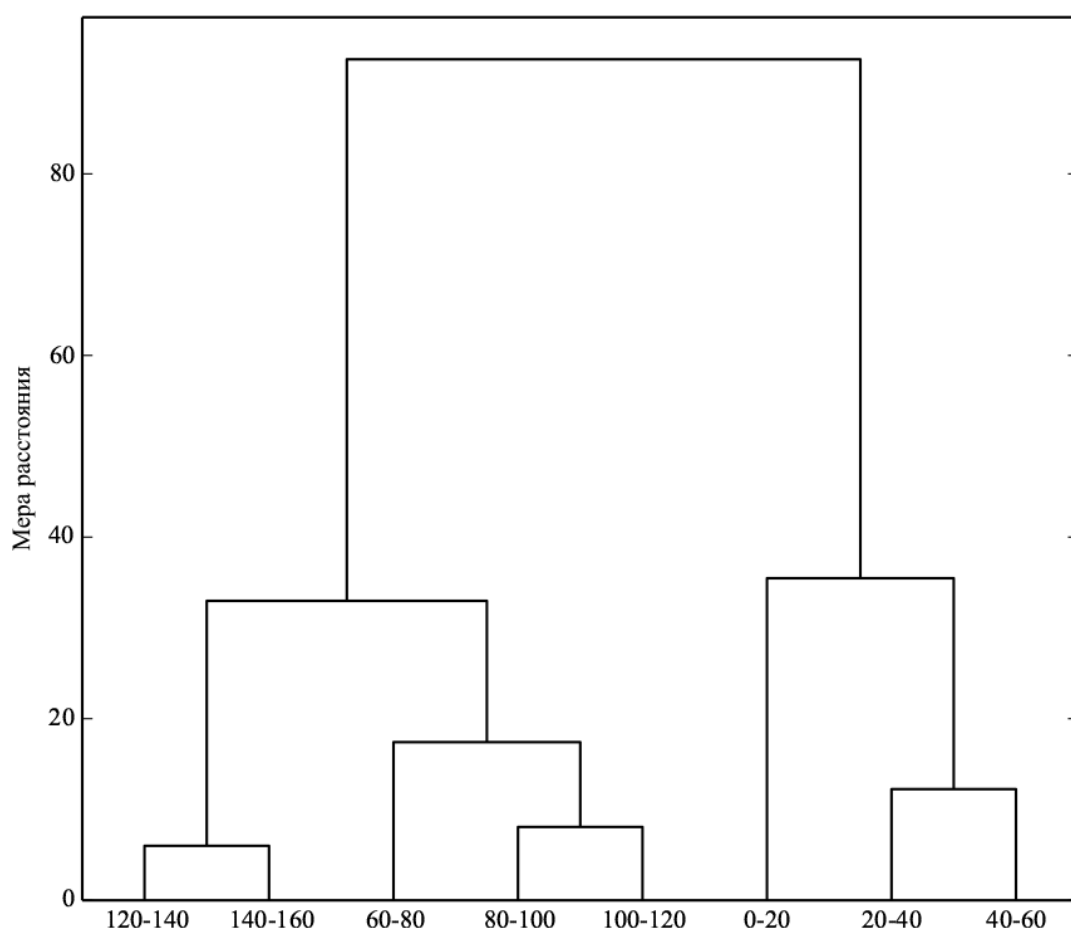
При этом более резко снижается численность бактерий и актиномицетов. Количество микроскопических грибов снижается более равномерно вниз по почвенному профилю. Это можно объяснить созданием благоприятных (более кислых) условий. Кроме того, встречаемость микромицетов по почвенному профилю обусловлена их способностью образовывать (формировать) покоящиеся структуры и размножаться фрагментацией гиф.

Наиболее обогащенными микробиотой являются верхние слои почвы. Максимальная численность выявлена для аммонифицирующих, амилалитических и олиготрофных микроорганизмов, минимальная – для микромицетов и бацилл.

Для дерново-подзолистых почв в целом характерна низкая азотфиксирующая активность по всему почвенному профилю. В то же время активность целлюлозоразрушающих форм микроорганизмов достаточно велика, особенно в пахотном и подпахотных слоях почвы.

Значение коэффициента минерализации колеблется от 1,5 до 0,2. С увеличением глубины эти значения, как правило, уменьшаются.

Для сравнения горизонтов по комплексу микробиологических показателей проводили их классификацию в рамках кластерного анализа. Результат анализа представлен на рисунке. Разрезание иерархического кластерного дендрита по уровню сходства (евклидову расстоянию) 35 ус. ед. привело к разделению почвенных горизонтов экосистем на 3 кластера. В первый из них вошли два нижних горизонта (120-140 и 140-160 см), где выявлены наименьшие различия признаков. Второй кластер образовали три средних горизонта с 100-120 см по 60-80 см, и в третий вошли три верхних горизонта с наибольшими различиями признаков.



Кластеризация горизонтов почвы по комплексу микробиологических показателей

Направленность процессов превращения веществ можно оценить по соотношению численности микроорганизмов на различных питательных средах.

Установлено изменение направленности процессов трансформации органического вещества в дерново-подзолистой почве, что подтверждается изменением коэффициен-

тов микробиологической минерализации и эвтрофности [6]. Наибольшие значения коэффициента минерализации наблюдаются в верхних горизонтах почв, что обусловлено преобладанием микроорганизмов, утилизирующих минеральные формы азота над численностью аммонификаторов. В то же время величина коэффициента эвтрофности с глубиной возрастает, что отражает усиление степени мобилизации азота гумуса в условиях недостаточной обеспеченности микроорганизмов легкодоступными питательными веществами.

Выводы. При анализе вертикально-ярусного распределения микроорганизмов отмечается смена таксономического состава микробных сообществ при переходе от пахотного слоя к глубинным почвенным ярусам. Однако следует говорить о тенденции, а не о строгой приуроченности функциональных групп или типов стратегий микроорганизмов к тому или иному ярусу.

Список литературы

1. Звягинцев Д. Г. Почва и микроорганизмы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. 256 с.
2. Распределение численности и биомассы микроорганизмов по профилю зональных типов почв / Л. М. Полянская [и др.] // Почвоведение. 1995. № 3. С. 322-328.
3. Широких А. А., Широких И. Г., Полянская Л. М. Профильное распределение численности и биомассы микроорганизмов в дерново-подзолистой почве Кировской области // Почвоведение. 2001. № 7. С. 845-851.
4. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
5. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
6. Гордеева Т. Х., Малюта О. В., Гаврицкова Н. Н. Микробиологическая индикация почвенно-экологических условий при использовании нетрадиционных мелиорантов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 1. С. 81-92.

MICROFLORA CULTIVATED SOIL PROFILE

Gordeeva Tatiana Haritonovna¹, Novoselov Sergey Ivanovich²

¹Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

²Mari State University, Russia, Yoshkar-Ola

The results of studies of microbial biomass and environmental microbial trophic structure in sod-podzolic soil with regard to their distribution in the soil profile. Prevalence of bacterial microflora. Changing mikrobiomassy associated with organic matter. Dominant ecological- trophic groups of prokaryotes are bacteria growing on agar krahmaloammiachnom, Ashby agar, soil agar. The general trend is to increase the share ammonifying, oligonitrophyllous and oligotrophic microorganisms with depth. Minor components remain microbocenosis micromycetes and spore-forming bacteria.

Keywords: sod-podzolic soil; profile distribution; microflora; intensity of microbiological processes; ecological-trophic structure of microbial

УДК 630*232:674.032.15(470.4)

ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ: СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ

*Еремин Николай Васильевич, Бродников Сергей Николаевич,
Мамаев Алексей Александрович, Мифтахов Тимур Фаридович*

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
EreminNV@volgatech.net

Рассмотрены результаты интродукции сосны кедровой сибирской, сформировавшей насаждения различного состава в условиях лесного фонда, использования материалов лесоустройства, таксационных описаний для ускоренного выявления местонахождения участков, которые могут иметь высокую ценность как объекты образовательного, научно-исследовательского и производственного назначения.

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская, лесные культуры, интродукция, районирование, состав насаждений

Введение. Роль и значение лесов России продолжает повышаться в связи с возрастающими общими потребностями пользования его лесосырьевыми ресурсами и биосферозащитными функциями [1]. Лесным кодексом 2006 года предусматривается сохранение биологического разнообразия, обогащение породного состава лесов и повышение их общего потенциала.

Сосна кедровая сибирская, особо ценная вечнозеленая хвойная древесная порода Сибири, остается желанной для произрастания и за пределами своего естественного ареала. К сожалению, в учебной литературе и других источниках сведения о занимаемом положении кедра по его физиологическим возможностям в сравнении с другими древесными породами в ареале его естественного произрастания в целом остаются неизвестными. Создание лесных культур данной интродуцированной породы в Среднем Поволжье позволило провести такие исследования в возрастной стадии молодняков. Так, по многолетним исследованиям В. Н. Карасева [2], на стационарном экспериментальном участке кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ установлено, что интенсивность нетто-ассимиляции однолетней хвои сосны кедровой за май, июнь, июль составляет в среднем 1,05 мг/г·ч, ели европейской – 1,09 мг/г·ч, сосны обыкновенной – 1,12 мг/г·ч, лиственницы сибирской – 3,00 мг/г·ч.

Цель работы – выявить современное состояние созданных насаждений кедра сибирского; определить направления дальнейших исследований сосны кедровой сибирской в регионе Среднего Поволжья.

Решаемые задачи: 1) выявить площади (объемы и участки) созданных лесных культур сосны кедровой сибирской по годам их производства с указанием их местонахождения; 2) определить общее состояние произрастающих лесных культур данной породы, пользуясь материалами лесоустройства и другими сведениями (книга учета лесных культур, статьи и т.д.); 3) разработать предложения по направлениям дальнейших исследований кедра сибирского с целью последующего совершенствования агротехники и технологии воспроизводства более успешных насаждений данной породы.

Роль и значение древесной породы. Сосна кедровая сибирская (*Pinus Sibirica*, Du Tour) чаще называется кедром сибирским – «хлебным деревом Сибири».

Внимание к кедру вполне заслуженное. Это дерево кормит, поит, лечит, одевает человека, а также согревает уютным жильем. Издавна в природных условиях кедррачи были источником добычи пушнины, ореха и других даров без рубки, с сохранением насаждения. В последнее время предметом бизнеса стала и заготовка ценнейшей древесины. Так, с 1961 по 2007 г. площадь спелых перестойных кедровников сократилась с 27 млн до 6,5 млн га, средний запас оставшихся насаждений составляет 200 м³/га.

Большое значение имеет и высокая продолжительность жизни кедра – 400 лет и более, при этом дерево сохраняет орехоносность, способность к семеношению. Ценность кедрачей и в настоящее время не снижается, а возрастает.

Результаты исследований. Ценнейшие свойства сосны кедровой сибирской издавна привлекали внимание и способствовали ее интродукции за пределы естественного ареала.

В летописи города Соликамска [3] повествуется о том, что в 1724 г. был получен указ Петра I об отправке в Петербургские сады его Величества 1300 кедровых деревьев (дичков), который был выполнен в 1725 г. В Кировской области у с. Бурмакино в 1979 г. [4] еще сохранялись посадки 1725 г. Деревья были посажены крестьянином Мошковцевым, владельцем заезжего дома на Сибирском тракте. Известно также, что в начале XVI в. у г. Ярославля на землях Толгского монастыря были произведены посадки кедра, которые существуют и в настоящее время [5].

В лесостепной части Пензенской области в Колышлейском районе кедрсы растут в парке ландшафтного типа, который был заложен крепостными крестьянами в 1830-1840 гг., а также 110-летние кедрсы в Земетчинском районе в Оболенском (князя) саду [6].

До 1900 г. интродукция кедра проводилась в основном не семенами, а посадкой дичками с наличием микоризы в почве у корневых систем, привезенной из ареала произрастания кедра. Посадка кедра проводилась целевым назначением. Создавались кедровые сады, кедровые парки, припоселковые кедровники. Обогащение породного состава лесов интродукцией кедра началось позднее.

В регионе Среднего Поволжья плановое создание культур сосны кедровой сибирской (тогда она называлась сосна сибирская) на землях гослесфонда началось в 1950-х годах при отсутствии утвержденных регламентов, в ряде случаев применялись агротехнические и технологические приемы, использовавшиеся при выращивании сосны обыкновенной.

Агротехника и технология выращивания интродуцированной сосны кедровой сибирской впервые были разработана и представлена в виде Наставления по выращиванию кедра сибирского в Европейской части РСФСР (Союзгирпролесхоз, 1971 г.) [7]. По Наставлению, наибольшая часть правобережья Среднего Поволжья находится за пределами южной границы успешного выращивания культур кедра.

Позднее, по Лесосеменному районированию основных лесообразующих пород СССР (1982), оптимум произрастания сосны кедровой в зоне ее интродукции в европейской части СССР отмечается в Верхне-Волжском лесосеменном районе [8]. В Средне-Волжском лесосеменном районе, в который входит Левобережье Среднего Поволжья, где отмечается недостаточная тепло- и влагообеспеченность, интродукция сосны кедровой рекомендовалась лишь в опытных целях. Приобретение семян предлагалось из центральной и восточной частей Свердловской, южной и западной – Тюменской, северной и восточной – Новосибирской и южной части Томской области.

Лесосеменное районирование и плановое поступление семян в регионы способствовали увеличению созданных культур сосны кедровой в Среднем Поволжье. В «Наставлении по проведению лесовосстановительных работ в зоне хвойно-широколиственных лесов Европейской части РСФСР» 1987 г. [9] в перечне предусмотренных типов лесных культур древесных пород по кедру сибирскому рекомендаций нет. При этом Министерство лесного хозяйства сочло возможным разрешить лесхозам создавать культуры кедра сибирского и других интродуцентов при наличии местного положительного опыта в регионе.

В соответствии с Лесным кодексом РФ (2006) и действующими Правилами по лесовосстановлению (2007) [10], воспроизводство сосны кедровой сибирской допускается в зоне хвойно-широколиственных лесов Среднего Поволжья (район 3.1). Успешность лесовосстановления данной породы признается при возможности перевода в виде насаждения в покрытые лесом земли при количестве деревьев сосны кедровой сибирской не менее 1,5 тыс. шт./га и достижении высоты (средней) – не менее 1,5 м. Для других пород в этом районе (ель, сосна обыкновенная, лиственница и др.) высота деревьев с возможностью перевода в лесопокрытую площадь снижена и составляет от 0,7 до 1,2 м. Все это подтверждено и действующей лесоустроительной инструкцией при таксации лесных насаждений [11].

По государственному учету лесного фонда [12], по состоянию на 1 января 2007 г. в Республике Марий Эл, Чувашской Республике и Республике Татарстан региона Среднего Поволжья, в отличие от других территорий, сведений о наличии насаждений кедра, т.е. сосны кедровой сибирской, нет. По материалам лесоустройства, таксационным описаниям лесного фонда по лесничествам нами выявлены разрозненные по кварталам участки интродуцента – сосны кедровой сибирской – в составе насаждений, сведения по которым обобщены и приводятся в таблице.

Площадь и количество участков кедра с учетом долевого участия в составе насаждений

Возраст, лет	Площадь/кол-во участков	В том числе с участием кедра в насаждении				
		9-10 Кд	6-8 Кд	4-5 Кд	2-3 Кд	1 Кд и менее
Республика Марий Эл						
10-70	314,5/93*	30,3/17	20,2/6	22,3/9	63,4/14	178,3/47
%	100	9,6	6,4	7,1	20,2	56,7
Чувашская Республика						
10-50,	138,6/61	22,7/16	15,8/11	32,1/13	42,7/11	25,3/10
%	100	16,4	11,4	23,6	30,4	18,2
Республика Татарстан						
10-60	319,1/49	10,2/4	2,2/1	10,0/4	32,4/16	264,3/24
%	100	3,1	0,7	3,0	10,2	83,0

В том числе 4 участка общей площадью 9,0 га в возрасте 70-120 лет.

Анализируя обобщенные сведения о состоянии кедра, представленные в таблице, при формировании насаждений можно отметить следующее. По лесосеменному районированию [8], Чувашская Республика, занимающая правобережье Среднего Поволжья, по климатическим факторам не входит в зону допустимой интродукции сосны кедровой, а по фактическому состоянию насаждения данной породы не уступают насаждениям данной породы в других республиках с разрешенной интродукцией и

даже имеют лучшие показатели. Так, в Чувашии на долю площадей с участием кедра в составе насаждения от 6 ед. и выше приходится 27,8 %, что в 2 раза больше по сравнению с другими республиками. При этом общая площадь с участием кедра в составе насаждения 1 ед. и менее составляет 18,2%, т.е. в 2,5 раза меньше, чем в Республике Марий Эл, и в 4 раза меньше, чем в Республике Татарстан.

Основываясь на данных таблицы, насаждения кедра можно отнести к категории «лесные культуры» с его участием в составе 9-10 ед. (3-10 % об общего состава по площади). Насаждения с участием кедра 6-8 ед. относятся частичным культурам (0,7-11 %). Остальные 83-86% – это комбинированное лесовозобновление

Лесные культуры сосны кедровой сибирской в Среднем Поволжье по своему состоянию представляют молодняки, так как у кедра класс возраста – 40 лет, в основном (91-92%) смешанного породного состава комбинированного лесовозобновления, с преобладанием в верхнем пологе других древесных пород естественного происхождения.

По лесовосстановительно-возрастной классификации Е. П. Смолоногова, В. А. Кирсанова, П. Ф. Трусова [13], полный цикл произрастания насаждений кедра естественного происхождения включает 5 стадий. В настоящее время культуры данной породы в Среднем Поволжье по своему состоянию напоминают первую стадию, а именно нахождение кедра в положении подроста либо 2 яруса с сохранением жизнеспособности под пологом естественно возобновившихся других пород. Но условия сформировавшихся молодняков в Среднем Поволжье иные – с повышенной полнотой (0,8-0,9 и более), менее щадящие для кедра. Естественный процесс с участием местных пород продолжается со снижением доли кедра (его «потерей») в насаждении.

В отличие от создаваемых лесных культур других пород (сосны обыкновенной, ели, дуба и др.), сохранившиеся насаждения с участием кедра характеризуются большой территориальной разобщенностью по всем лесничествам и небольшими размерами площадей от 0,3 га и в основном до 3,0 га.

В регионе Среднего Поволжья в ряде случаев, возможно, недостаточно осознанно в сложных условиях производственной деятельности снижается внимание к культивируемой породе, что, естественно, не улучшает ее состояния. При плановом ведении лесного хозяйства сосна кедровая сибирская однозначно признается только интродуцентом – желанным переселенцем одной страны [14].

Выводы и предложения. Природно-климатические условия региона Среднего Поволжья способствуют успешному произрастанию сосны кедровой сибирской, что подтверждается хорошим ростом породы, формированием насаждений без участия в их составе местных древесных пород в верхнем пологе древостоя.

В природных условиях лесного фонда при неуправляемом совместном произрастании с местными породами положение сосны кедровой сибирской, медленно растущей в первые годы, менее устойчиво (вытесняется из состава насаждения).

Успешная интродукция данной породы достигается проведением полного комплекса агролесотехнических приемов при создании чистых, а также смешанных по составу насаждений в согласовании со своевременным проведением лесоводственных уходов.

Насаждения лесных культур кедра сибирского (чистых и смешанных по составу) представляют высокую ценность. Они являются учебной базой в период проведения учебных и производственных практик студентов лесохозяйственного профиля, а также

материальной базой, «живой вечнозеленой лабораторией» для исследований и разработки надежных технологий, приобретения положительного опыта создания насаждений данной породы с учетом их изначально целевого назначения: промышленно-лесосырьевого, лесопаркового, орехопромыслового, защитного, природоохранного и др.

Список литературы

1. Еремин Н.В., Карасева М.А., Карасев В.Н. Агротехнические и физиологические аспекты успешности выращивания культур сосны кедровой сибирской в Республике Марий Эл // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2010. № 1. С. 29-39.
2. Карасев В.Н., Карасева М.А. Эколого-физиологическая диагностика жизнеспособности хвойных пород. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. 216 с.
3. Петров М.Ф. Кедровые леса и их использование. М.: Гослесбумиздат, 1961. 132 с.
4. Соловьев, А.Н. Памятники природы Кировской области. Киров: Обл. краевед. музей, 1979. 59 с.
5. Дроздов И.И., Дроздов Ю.И. Лесная интродукция: учебное пособие для вузов. М.: МГУЛ, 2005. 134 с.
6. Основные положения организации и ведения лесного хозяйства Пензенской области. Пенза: Пензенская лесоустроительная экспедиция, 2003. 365 с.
7. Наставление по выращиванию кедра сибирского в Европейской части РСФСР. М.: Союзгипролесхоз, 1971. 42 с.
8. Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород в СССР / Гос. ком. СССР по лесному хозяйству. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 368 с.
9. Наставление по проведению лесовосстановительных работ в зоне хвойно-широколиственных лесов Европейской части РСФСР. М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1987. 75 с.
10. Правила лесовосстановления / Министерство природных ресурсов РФ. М., 2007. 17 с.
11. Лесоустроительная инструкция: утверждено приказом Рослесхоза от 12.12.2011 г. № 516. 30 с.
12. Государственный учет лесного фонда. М.: ООО «Экосервис», 2007. 879 с.
13. Смолоногов Е.П., Кирсанов В.А., Трусков П.Ф. Особенности возрастной динамики темнохвойно-кедровых лесов Северного Урала // Использование и воспроизводство кедровых лесов. Новосибирск: Наука, 1971. С. 72-81.
14. Пчелин В.И. Дендрология: учебник. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. 520 с.

SYLVICULTURES SIBERIAN STONE PINE IN MIDDLE VOLGA REGION: STATE AND PROBLEMS

***Eremin Nikolai Vasilevich, Brodnikov Sergey Nikolaevich, Mamaev Alexei Alexandrovich,
Miftakhov Timur Faridovich***

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The paper analyses the results of Siberian pine (Pinus sibirica) introduction in the forest stand of various composition. Application of forest management materials and inventory descriptions facilitates the identification of areas with scaled up value for carrying out educational, research and industrial activities.

Keywords: *Siberian stone pine, forest culture, introduction, zoning, composition plantations*

УДК 630*237:630*43

ЛЕСОВОДСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РУБОК УХОДА В ПИРОГЕННЫХ МОЛОДНЯКАХ

Калинин Константин Константинович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
KalininKK@volgatech.net

Рассмотрена лесоводственная эффективность рубок ухода в культурах сосны в условиях субори (B_2) и в культурах ели в сураменах (C_2). Наибольшая лесоводственная эффективность рубок ухода в культурах сосны в условиях свежей субори достигается при удалении лиственных пород на 2 м от ряда культур. В свежих сураменах в культурах ели наибольший лесоводственный эффект получен при сплошном удалении лиственных. Близкая лесоводственная эффективность рубок ухода по сравнению со сплошным удалением лиственных пород выявлена и при удалении их на расстояние 2 м от ряда культур. Наименьший эффект наблюдался при удалении лиственных пород на 1 м от ряда. Выявлена высокая эффективность хомуходов в культурах сосны.

Ключевые слова: культуры сосны, ели, рубки ухода, лесоводственная эффективность

На горях 2010 года в недалеком будущем будут формироваться молодняки естественного и искусственного происхождения. Первостепенное значение для них будут иметь своевременное проведение лесоводственных уходов. Самые важные приемы рубок ухода выполняются именно в молодняках, поскольку в этот период решаются задачи формирования древостоев желаемого состава [1-4]. В связи с этим большое значение представляет опыт проведения таких уходов на горях 1972 года.

Цель работы – выявление лесоводственной эффективности рубок ухода в культурах сосны и ели.

Решаемые задачи: изучение лесоводственной эффективности рубок ухода в пирогенных молодняках в зависимости от методов ухода, способов ухода.

Техника эксперимента. Лесоводственная эффективность различных способов и методов рубок ухода на рост культур сосны и ели изучалась на опытных участках в Пригородном лесхозе (ныне лесничестве) в Республике Марий Эл. Культуры сосны были созданы в 1976 году в условиях свежей сурамени (B_2) после рубки погибшего от пожара 1972 года спелого соснового древостоя. Почва свежая супесчаная дерновоподзолистая на древнеаллювиальных песках, подстилаемая на глубине 1,7 м суглинком. Метод создания – посадка 2-летних сеянцев сосны лесопосадочной машиной ЛМД-1 в дно плужных борозд ПКЛ-70 с размещением 3,0 x 0,7 м. Сохранность культур по состоянию на 1983 год составляла 47%. На опытном участке в момент закладки опыта (табл. 1) сформировался лиственный молодняк из березы, осины, липы, ивы сомкнутостью 0,7...0,9 с максимальными высотами и диаметрами соответственно до 8...9 м и 6...7 см с запасом на 1 га до 37,6 м³. Культуры сосны практически полностью оказались под пологом лиственных пород, лишь 8% сосенок являлись незатененными. Из-за затенения лиственным пологом затененные сосенки уже с 3-го года после создания культур как по высоте, так и годичному приросту существенно (на 5% уровне значимости) отличались от незатененных, то есть уже с этого возраста требовалось осветление культур. В 1983 году вручную топором проведено уже несколько запоздалое

осветление сосны путем вырубki лиственных пород в двух вариантах: 1) на полосах шириной 1 м от ряда культур; 2) на полосах по 2 м. В конце августа 1984 года проведен химический уход путем инъекции в стволы деревьев с помощью аппарата «Кобра» водных растворов аминной соли 2,4-Д и фосулена в концентрации соответственно 33 и 10% по д.в.

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоя, состояние и рост культур сосны на опытном участке рубок ухода в условиях свежей субори

Секция	Ярус	Состав древостоя по учету в 1983 г.	Интенсивность изреживания по запасу, %	Средняя высота, м, по годам			Относительное увеличение высоты по отношению к контролю	Состояние сосны в 1988 г., %		
				1983	1988	увеличение, м		благонадежные	сомнительные	неблагонадежные
Контроль	I II	6Б3Ос1Ив+Лпед.С 6Б3Лп1С+ Ос	0	1,6	2,5	0,9	1,0	42	55	3
Удаление лиственных пород на 2 м от ряда культур	I II	7Б2Ос1Ив+Лпед.С 6Б3Лп1С + Ос.Ив	90	1,4	3,5	2,1	2,3	77	20	3
То же, но на 1 м от ряда культур	I II	6Б3Ос1ЛпИв+С 8Б1Лп1С + Ос	48	1,4	3,5	1,9	2,1	68	29	3
Химуход аминной солью 2,4-Д	I	6Б3Ос1Ив+Лпед.С	36	1,4	3,0	1,6	1,8	77	17	6
	II	7Б2Лп1С + Ос								
Химуход фосуленом	I	4Б4Ос1Ив1Лп	34	1,5	3,3	1,8	2,0	71	29	0
	II	5Б3Лп2С + Ос								

Культуры ели были созданы в 1974 году в условиях свежей сурамени (С₂) по бороздной обработке почвы ПКЛ-70 с посадкой 2-летних сеянцев в дно плужных борозд. При размещении сеянцев 4,5...5,0 x 0,5 м сохранность культур в 1985 году составила 65%. На участке в 1980 году было проведено осветление топором в трех вариантах: 1) сплошное удаление лиственных пород; 2) удаление лиственных пород на расстояние 1 м от ряда культур; 3) удаление лиственных пород на расстояние 2 м от ряда культур.

Интерпретация результатов и их анализ

Лесоводственная эффективность рубок ухода в культурах сосны в условиях субори. По исследованиям на 5-й год после проведения рубок ухода состояние культур сосны было удовлетворительным (см. табл. 1). Количество благонадежных сосен составляло 68...71%, что на 26...35% больше по отношению к контролю. Разница в благонадежности культур существенна на 5% уровне значимости по t-критерию Стьюдента во всех вариантах ухода.

В вариантах с уходами высоты сосен были значительно больше (на 20...40%), чем на контроле. Различия эти также существенны на 5% уровне значимости. Относительное увеличение высоты сосны по сравнению с контролем по вариантам рубок ухода

составляло 1,58...1,94%, оно больше всего было в варианте с удалением лиственных пород на 2 м от ряда. Несколько меньше лесоводственная эффективность наблюдалась при удалении лиственных пород на 1 м от ряда культур. Лесоводственная эффективность хммуходоу таке высокая, хотя несколько и устуает предыдущим вариантам.

Через пять лет после проведения рубок ухода за счет разрастания поросли и крон оставшихся деревьев лиственных пород значительная часть сосенок (от 50 до 59% по вариантам ухода) вновь испытывала затенение и требовала повторной уборки затеняющих лиственных пород.

Исследования показали также, что в сосняках в условиях свежей субори при обильном разрастании лиственных пород нельзя запаздывать с уходом. Сильно отставшая в росте сосна плохо реагирует на осветление и в значительной массе (от 57 до 76%) отмирает.

По эффективности действия на древесные породы различных видов арборицидов водный раствор фосулена по отношению к березе и липе был более токсичным по сравнению с водным раствором аминной соли. По отношению к осине оказалась более эффективной обработка аминной солью 2,4-Д. По толщине деревьев эффективность действия обоих препаратов уменьшалась с увеличением размеров деревьев. Так, при диаметре до 2 см наблюдалось полное отмирание березы и осины, а при диаметре 6 см оно составило лишь 55...60%.

Уход с помощью аппарата «Кобра» является экономически эффективным, трудозатраты при нем по сравнению с ручным уходом снижаются на 3,5 чел. дня на 1 га. При оценке химического способа ухода следует иметь в виду и отсутствие поросли у отмирающих деревьев, в то время как при уходе с помощью топора уже на второй год от пней появилась обильная поросль высотой до 1,0 м, вновь угнетающая лиственные породы. На пятом году после рубок ухода она достигала 1,5...2,0 м и во многих случаях требовала удаления.

Лесоводственная эффективность рубок ухода в культурах ели в условиях сураме-ни. Наибольшая лесоводственная эффективность достигнута при сплошном удалении лиственных пород (табл. 2). Здесь интенсивность роста культур составляет 76% от максимально возможной [5].

Таблица 2

Показатели роста культур ели при различных вариантах на 5-й год после рубок ухода

Варианты ухода	Средняя высота		Текущий прирост		Показатели достоверности различия между контролем и вариантами (при $t_{0,05}=2,06$)	
	см	отклонение от контроля, %	см	отклонение от контроля, %	средняя высота	текущий прирост
Контроль	99±12,3	-	11,2±0,9	-	-	-
Сплошное удаление лиственных пород	257±19,1	159,6	50,0±5,2	346,4	7,0	7,3
Удаление лиственных пород на 1 м от ряда культур	154±14,9	55,6	21,7±2,7	9,7	2,8	3,7
Удаление лиственных пород на 2 м от ряда культур	229±19,2	131,3	32,1±3,8	186,6	5,7	5,3

Близкая лесоводственная эффективность рубок ухода по сравнению со сплошным удалением лиственных пород получена и при удалении их на расстояние 2 м от ряда культур. Наименьший эффект получен при удалении лиственных пород на 1 м от ряда. По сравнению с контролем средняя высота ели здесь увеличилась лишь на 55,6%, а интенсивность роста культур составила от максимально возможной лишь 36%. Оставленные кулисы из лиственных пород в варианте с удалением их на 1 м от ряда в верхней части полога (на высоте 7...8 м) во многих местах уже сомкнулись кронами между собой. Смыкание крон произойдет через 2...3 года и в варианте с удалением лиственных пород на 2 м от ряда культур. Для выведения ели в верхний полог необходима уборка оставленных кулис.

Выводы

1. В культурах сосны в условиях свежей субли (B₂) лесоводственные ухода необходимы с раннего возраста (трех лет). Наибольший лесоводственный эффект достигается при удалении лиственных пород на 2 м от ряда культур.

2. Опыт проведения рубок ухода в культурах ели показал их высокую лесоводственную эффективность при сплошном удалении лиственных пород или при их удалении на 2 м от ряда культур. Близкая лесоводственная эффективность рубок ухода по сравнению со сплошным удалением лиственных пород получена и при удалении их на расстояние 2 м от ряда культур. Наименьший эффект получен при удалении лиственных пород на 1 м от ряда.

3. Выявлена высокая эффективность химуходов. Наиболее эффективен наземный химуход в молодняках до 10-летнего возраста. В более старшем возрасте становятся затруднительными проходы тракторных агрегатов и вследствие значительной высоты молодняков нарушается равномерность обработки крон лиственных пород.

Список литературы

1. Правила ухода за лесами. М.: Рослесхоз, 2007. 56 с.
2. Сеннов С.Н. Лесоведение и лесоводство: учебник. М.: Академия, 2005. 253 с.
3. Демаков Ю.П., Калинин К.К. Лесоводство. Ведение лесного хозяйства в лесах, поврежденных пожарами: учеб. пособ. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. 135 с.
4. Денисов С.А. Структура и динамика березняков Республики Марий Эл // Вестник Поволжского технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2009. № 1. С. 5-18.
5. Рыбальченко Н.Г. Методические указания по лесоводственному уходу за культурами ели на вырубках. М.: ВНИИЛМ, 1991. 36 с.

SILVICULTURAL THINNINGS IN PYROGENIC FLEDGLINGS

Kalinin Konstantin Konstantinovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Examined the effectiveness of silvicultural thinning in pine cultures in terms Pinetum compositum (B₂) and in cultures eat – in suramenyah (C₂). The highest efficiency of silvicultural thinning in pine cultures in terms of fresh Pinetum compositum is achieved by removing hardwood at 2 m from a range of cultures. In fresh suramenyah cultures ate silvicultural greatest effect was obtained with continuous removal of hardwood. Close silvicultural thinnings effectiveness compared with continuous removal of hardwood found and when they are removed to a distance of 2 m from a range of cultures. The smallest effect was observed when removing hardwood at 1 m from the range. The high efficiency himuhodov in pine cultures.

Keywords: culture of pine, spruce, thinning, silvicultural effectiveness

УДК 633.873.1:630*164.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РОСТА КУЛЬТУР ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО, СОЗДАНЫХ С ЗАКРЫТОЙ И ОТКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ

*Кириллов Сергей Владимирович, Яковлев Александр Степанович,
Краснов Виталий Геннадьевич, Лебедева Эмилия Петровна*

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
KrasnovVG@volgatech.net

Проанализированы показатели роста по высоте и по диаметру лесных культур дуба черешчатого, созданных с закрытой и открытой корневой системой в Республике Марий Эл.

Ключевые слова: культуры дуба, сеянцы с открытой и закрытой корневой системой

Введение. В связи с неудовлетворительным санитарным состоянием дубрав в Среднем Поволжье возникает необходимость их восстановления [1]. При создании лесных культур дуба черешчатого необходимо использовать высококачественный посадочный материал с пропорционально развитыми частями и оптимальным соотношением корней и надземной части растения. Характер строения корневых систем посадочного материала и особенности их формирования являются важными факторами в повышении устойчивости и качества лесных культур, а также в снижении послепосадочной депрессии [2]. Из анализа отечественного и зарубежного опыта следует, что явление послепосадочной депрессии в культурах можно уменьшить путем использования посадочного материала с закрытой корневой системой. Имеются литературные данные о применении посадочного материала с закрытой корневой системой (ЗКС) сосны обыкновенной и ели европейской [3], но в отношении дуба черешчатого такие исследования не проводились.

Цель работы – изучение состояния и роста культур дуба, созданных сеянцами с закрытой и открытой корневой системой.

Решаемые задачи: 1) выявить влияние вида посадочного материала на рост культур дуба черешчатого; 2) выявить влияние устройства для поддержания микроклимата на рост саженцев дуба.

Методика исследования. Опытные культуры дуба черешчатого с использованием различного посадочного материала были созданы на дерново-среднеподзолистых суглинистых почвах в квартале 68 Кортинского лесничества Учебно-опытного лесничества ПГТУ весной 2000 г. Посадка проводилась 3-летними сеянцами выкопанными с глыбкой земли размером 25 x 25 x 25 см (условно с закрытой корневой системой (ЗКС)) и сеянцами с открытой корневой системой (ОКС). Обработка почвы сплошная, размещение растений между рядами 1,5 м и в ряду 0,75 м.

Интерпретация результатов. С целью выявления влияния микроклиматических условий на состояние и интенсивность роста в 2001 году на каждый второй из высаженных дубков были надеты полиэтиленовые тубусы. Тубусы представляют собой цилиндры высотой 0,5-1,5 м и диаметром 40-70 см. После надевания тубусов дубки были подвязаны к кольям для предотвращения сползания или срыва ветром (рис. 1).

В опытных культурах рост дуба изучался в 2001, 2002, 2008, 2013 годах. С этой целью у всех растений с учетом вариантов посадки измерялась высота (м). У молодых дубков высотой до 1 м измерялся диаметр корневой шейки (см), у растений высотой более 2,0 м – диаметр на высоте 1,3 м. Показатели роста однолетних культур приведены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели роста однолетних культур дуба, созданных сеянцами с закрытой и открытой корневой системой (осень 2000 г.)

Показатели	Сеянцы с закрытой корневой системой	Сеянцы с открытой корневой системой	td
Высота, м	$0,54 \pm 0,03$	$0,38 \pm 0,03$	4
Диаметр, см	$0,68 \pm 0,03$	$0,57 \pm 0,03$	2,59

Растения дуба на следующий год после посадки, посаженные с глыбкой земли, имели лучшие показатели по высоте и диаметру, по сравнению с теми дубками, которые имели открытые корни при посадке.



Рис. 1. Саженец с закрытой корневой системой, одетый в тубус (июнь 2001 г.)

Дубки, произрастающие в тубусах, в культурах, созданных как с открытой корневой системой, так и с глыбкой земли имели лучшие показатели по высоте по сравнению с теми растениями дуба, которые были без тубусов (табл. 2). Однако следует от-

метить, что преимущество по высоте растений в тубусе и без тубуса недостоверно, td соответственно составляет 1,294 и 1,16. По диаметру различия более существенны у варианта с закрытой корневой системой. В тубусах корневая шейка дубков достоверно больше ($td = 3,1$); саженцы в тубусах имеют достоверно лучший рост (td составляет 4,6 и 4,7).

Таблица 2

Показатели 2-летних культур дуба, созданных сеянцами с закрытой и открытой корневой системой (по данным 2001 года)

Опыт	Показатели	$x \pm Sx^*$	Среднее квадратическое отклонение	Изменчивость, %	Min	Max	td
ОКС без тубуса	Высота, см	46,4 $\pm$ 2,44	11,74	25,28	23	71	1,29
	Диаметр, мм	6,8 $\pm$ 0,32	1,57	23,88	2,6	9,0	0,66
ОКС в тубусе	Высота, см	51,9 $\pm$ 3,5	16,8	32,36	24,8	94	-
	Диаметр, мм	7,1 $\pm$ 0,33	1,58	22,12	3,2	10,5	-
ЗКС без тубуса	Высота, см	67,6 $\pm$ 12,8	19,54	28,89	25,4	118	-
	Диаметр, мм	7,8 $\pm$ 0,30	2,04	25,82	4,6	15,4	-
ЗКС в тубусе	Высота, см	82,6 $\pm$ 3,27	22,67	27,42	37	142,7	1,13
	Диаметр, мм	9,2 $\pm$ 0,35	9,51	27,13	4,3	19	3,06

Примечание: $x \pm Sx^*$ - среднее арифметическое $\pm$ ошибка среднего.

По данным обследования 2002 года, использование тубуса способствовало улучшению микроклимата вокруг растения, снижению интенсивности транспирации, защите от заморозков и уменьшению периода послепосадочной депрессии. На второй год влияние тубуса на рост культур оказалось более существенным (табл. 3).

Таблица 3

Показатели 3-летних культур дуба, созданных сеянцами с закрытой и открытой корневой системой (по данным 2002 года)

Опыт	Показатели	$x \pm Sx$	Среднее квадратическое отклонение	Изменчивость, %	Min	Max	td_1	td_2
ОКС без тубуса	Высота, см	46,2 $\pm$ 2,53	12,67	27,43	26	71	4,6	7,69
	Диаметр, мм	7,3 $\pm$ 0,37	1,91	25,93	3,4	10,4	3,8	4,74
ОКС в тубусе	Высота, см	79,5 $\pm$ 6,77	37,12	46,66	17	157	-	3,14
	Диаметр, мм	9,4 $\pm$ 0,4	2,19	23,40	5,7	15,2	-	3,81
ЗКС без тубуса	Высота, м	80,5 $\pm$ 3,61	24,75	30,72	29	165	-	-
	Диаметр, мм	10,37 $\pm$ 0,48	2,74	26,72	4,0	17,2	-	-
ЗКС в тубусе	Высота, см	103,2 $\pm$ 3,34	22,67	21,96	52,5	152	4,61	-
	Диаметр, мм	11,5 $\pm$ 0,41	2,75	23,8	6,8	17,8	1,59	-

На данное устройство получен патент на полезную модель № 132676 от 27.09.2013 [4]. Также нужно отметить, что на второй год роста саженцы, созданные с ЗКС, имели лучший рост по высоте. Существенность различий по высоте $td = 7,69$, а по диаметру – $td = 4,74$.

В 2008 году были проведены исследования показателей роста опытных культур дуба в 8-летнем возрасте [5]. Данные приведены в таблице 4.

Таблица 4

**Показатели 8-летних культур дуба, созданных сеянцами с закрытой
и открытой корневой системой (по данным 2008 года)**

Опыт	Показатели	$x \pm Sx$	Среднее квадратическое отклонение	Изменчивость, %	Min	Max	td
2008 год							
ОКС без тубуса	Высота, м	3,3±0,34	1,33	40,51	0,8	4,5	2,8
	Диаметр, см	3,0±0,45	1,74	57,95	1	4,8	1,0
ОКС в тубусе	Высота, м	3,2±0,28	1,26	40,42	1	4,9	5,19
	Диаметр, см	2,6±0,45	2,01	78,81	1	5,6	2,72
ЗКС без тубуса	Высота, м	4,7±0,12	0,80	17,04	2,3	5,8	-
	Диаметр, см	3,9±0,17	1,09	28,51	2,2	5,9	-
ЗКС в тубусе	Высота, м	4,3±0,12	0,74	17,40	1	5,1	-
	Диаметр, см	3,5±0,19	1,17	33,19	1	5,9	-

Высота дубков в 8-летнем возрасте варьировала от 0,8 м до 5,8 м, диаметр составлял 1,0-5,9 см. В 8-летнем возрасте показатели роста дуба не одинаковы по вариантам посадки. Лучший рост характерен для дубков, высаженных с закрытой корневой системой (высота 4,7 м, диаметр 3,9 см), что достоверно лучше варианта посадки дуба с открытой корневой системой. То есть разница в росте сохраняется в течение 8 лет в пользу растений, посаженных с сохранением корневой системы. Влияние же другого фактора – тубуса – на рост 8-летних культур уже не сказывается.

При определении существенности различий параметров в различных вариантах в 8-летнем возрасте выявлено, что наиболее существенные различия отмечены по высоте. Высота 8-летних культур, созданных сеянцами с закрытыми корнями, почти на 1,5 м больше, чем в культурах, где использовался посадочный материал с открытой корневой системой. Данные показатели отличаются существенно $td = 5,19$.

Опытные культуры были обследованы в августе 2013 года. Полученные данные приведены в таблице 5.

Таблица 5

**Статистические показатели 13-летних культур дуба, созданных сеянцами с закрытой
и открытой корневой системой (по данным 2013 года)**

Опыт	Показатели	$x \pm Sx$	Среднее квадратическое отклонение	Изменчивость, %	Min	Max	td
ЗКС все	Высота, м	6,4±0,12	1,05	16,49	3,7	8,8	4,65
	Диаметр, см	6,7±0,21	1,75	25,95	2,8	10,5	0,46
ОКС все	Высота, м	5,4±0,16	0,91	16,78	3,1	6,5	-
	Диаметр, см	7,02±0,52	2,93	41,69	2,1	11,5	-
ЗКС в тубусе	Высота, м	6,5±0,14	0,84	12,95	3,7	8,3	4,14
	Диаметр, см	6,8±0,23	1,44	21,12	4,6	10,0	0,39
ОКС в тубусе	Высота, м	5,3±0,24	1,03	19,35	3,1	6,5	-
	Диаметр, см	6,5±0,75	3,26	49,93	2,1	11,6	-
Все в тубусе	Высота, м	6,2±0,14	1,06	17,15	3,1	8,7	0,54
	Диаметр, см	6,7±0,29	2,19	32,58	2,1	11,6	0,57
Все без тубуса	Высота, м	6,0±0,17	1,14	18,85	3,8	8,8	-
	Диаметр, см	6,9±0,31	2,14	30,68	2,6	10,5	-

Высота дубков в 13-летнем возрасте варьировала от 3,1 до 8,8 м, диаметр составлял 2,1-11,6 см. В 13-летнем возрасте показатели роста дуба варьируют в зависимости от вида посадочного материала. Лучший рост характерен для дубков, высаженных с закрытой корневой системой (высота 6,4 м, диаметр 6,7 см). Это лучшие показатели по сравнению дубками, созданными с открытой корневой системой.

Анализируя данные, можно утверждать, что наиболее существенное влияние на рост 13-летних культур дуба черешчатого оказало применение посадочного материала с закрытой корневой системой.

Выводы. Посадочный материал с открытой и закрытой корневой системой в опытных культурах дуба показал разные результаты по росту. Лучшие показатели роста дуба в высоту отмечены в культурах, созданных посадкой сеянцев с закрытой корневой системой (выкопаны с глыбкой земли размером 25 x 25 x 25 см). Применение тубусов оказало положительное влияние на рост в высоту саженцев в первые два года как в культурах, созданных с открытой корневой системой, так и в культурах, созданных сеянцами, выкопанными с глыбкой земли.

Список литературы

1. Краснов В.Г. Санитарное состояние искусственных насаждений дуба черешчатого в Среднем Поволжье // Лесной журнал. 2007. № 6. С. 42-48.
2. Яковлев А.С., Яковлев И.А. Дубравы Среднего Поволжья: науч. издание. Йошкар-Ола: МарГТУ, 1999. 352 с.
3. Состояние и повышение результативности искусственного лесовосстановления в Нижегородской области / Е. М. Романов, Н. В. Еремин, Т. В. Нуреева [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2008. № 3(4). С. 18-29.
4. Устройство для поддержания микроклимата: патент на полезную модель 132676 RU U1, МПК A01G9/10, A01G9/14 / авторы: Романов Е.М., Кириллов С.В., Краснов В.Г., Бродников С.Н. Заявл. 16.04.2013, опубл. 27.09.2013.
5. Кириллов С.В., Яковлев А.С. Особенности роста культур дуба черешчатого, созданных сеянцами с закрытой корневой системой // Современные проблемы теории и практики лесного хозяйства: сб. ст., посвящ. 100-летию со дня рождения д-ра биол. наук М.Д. Данилова. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. С. 112-115.

STUDY OF FEATURES OAK CULTURE GROWTH POSES WITH INDOOR AND OUTDOOR ROOT SYSTEM

***Kirillov Sergey Vladimirovich, Yakovlev Alexandr Stepanovich,
Krasnov Vitaliy Gennadievich, Lebedeva Emilia Petrovna***

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Analyzed the growth in height and diameter of English oak plantations established with closed and open root system in the Republic of Mari El.

Keywords: Culture oak, seedlings in open and closed root system

УДК 630*42:377(470.342)

СОЗДАНИЕ УЧЕБНО-ПОЛЕВОЙ БАЗЫ ПО ОХРАНЕ ЛЕСОВ ОТ ПОЖАРОВ ДЛЯ УЧРЕЖДЕНИЙ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ (на примере Суводского лесхоз-техникума Кировской области)

Крылова Анна Александровна

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
KrylovaAA@volgatech.net

Рассмотрены вопросы обучения в лесных техникумах. Определены ключевые моменты подготовки специалистов в области охраны лесов от пожаров. Представлен вариант учебной базы для практических занятий по лесной пирологии.

Ключевые слова: учебная база, лесные пожары, противопожарное устройство

Введение. Среднее специальное образование как одна из форм профессионального образования имеет целью подготовку организаторов и руководителей первичных звеньев на производстве, помощников специалистов высшей квалификации, самостоятельных исполнителей определенной квалифицированной работы, требующей не только профессиональных умений и навыков, но и соответствующей теоретической подготовки. Для ряда специалистов это высшая ступень профессиональной подготовки.

Новые социально-экономические условия, складывающиеся в нашей стране, предъявляют исключительно высокие требования к профессиональной готовности специалиста. Общей целью высшего образования, как известно, является опережающее воспроизводство потребности в кадрах, ориентированных на новые, перспективные и эффективные технологические процессы мирового уровня с учетом многообразия общечеловеческого и национального богатства, создания интеллектуального и профессионального потенциала общества, способного к продуктивной интеллектуальной деятельности [1].

Одним из основных требований к образованию, в том числе и профессиональному, является требование его современности, которое включает в себя представление о том, кто такой современный человек, человек-профессионал, как он живет, каково его назначение в мире, его роль в обществе, культуре, в сфере производства, каковы заказ (социальный и политический) на его образование, каковы ожидания образования у самого человека, общества и производств [2].

Идеальным результатом современного образования должен стать компетентный специалист, а реальным – создание условий для достижения поставленной цели в образовательном учреждении [2].

Современные образовательные стандарты основаны на внедрении модульных программ обучения, при знакомстве с которыми обучающийся поэтапно становится компетентным специалистом. Модульное обучение носит практико-ориентированный характер, который позволяет обеспечивать индивидуальную траекторию обучения [3].

На теоретических занятиях преобладает освоение информации; в учебных мастерских, лабораториях во время производственного обучения происходит формирование навыков; на завершающей стадии обучения на производственной практике обобщение знаний, навыков переходит в стадию формирования профессиональных умений. Творческое отношение всех обучающихся к своей будущей профессиональной дея-

тельности, таким образом, воспитывается, формируется в процессе всей учебно-производственной работы [3].

Для удовлетворения всех этих требований учебным заведениям требуется наличие учебной базы, которая позволит выпускать компетентных специалистов лесного комплекса. Учебные базы могут разрабатываться как по отдельным направлениям, так и в комплексе. В своей работе мы поставили задачу создания учебной базы для подготовки специалистов в области управления огнем в лесу.

Цель работы: 1) разработка вопросов противопожарного обустройства территории лесного фонда как учебно-полевой базы, отвечающей требованиям образовательного модуля; 2) организация и проведение мероприятий по охране и защите лесов для лесных техникумов.

Решаемые задачи: 1) провести оценку необходимости создания учебно-полевой базы; 2) определить и дать обоснование создаваемой базе; 3) рассмотреть перспективы использования разрабатываемого объекта.

Согласно ФГОС СПО №677 от 22.06.2010 года по специальности 250110 «Лесное и лесопарковое хозяйство», реализуемой в большинстве колледжей и техникумов лесного профиля, одна из областей профессиональной деятельности выпускников – это организация на уровне структурного подразделения технологических процессов охраны и защиты лесов [4]. В настоящее время около сорока российских средних специальных учебных заведений (техникумов и колледжей) обучают студентов данному направлению.

Образовательное учреждение, реализующее основную профессиональную образовательную программу по специальности среднего профессионального образования, должно располагать материально-технической базой, обеспечивающей проведение всех видов лабораторных работ и практических занятий, дисциплинарной, междисциплинарной и модульной подготовки, учебной практики, предусмотренных учебным планом образовательного учреждения.

При изучении модуля «Организация и проведение мероприятий по охране и защите лесов», особенно вопросов лесной пирологии, обучающиеся должны иметь практический опыт [4]:

- осуществления мероприятий по охране лесов от пожаров;
- использования средств тушения лесных пожаров;
- разработки планов противопожарных мероприятий.

Реализация практико-ориентированного обучения возможна только при наличии учебной базы. Для студентов специальности «Лесное и лесопарковое хозяйство» это лес и все, что с ним связано. Поэтому важным является создание учебно-полевых баз при колледжах и техникумах. Многие лесные техникумы имеют подсобные хозяйства, лесные участки, дендросады и даже целые лесничества. На их основе строятся графики прохождения учебных и производственных практик. При этом важно, чтобы устройство данных территорий отвечало современным требованиям лесной отрасли, учитывало научный и практический опыт, отражало все основные аспекты деятельности лесного комплекса. Нас, в частности, интересуют вопросы охраны лесов от пожаров.

В качестве примера был выбран КОГОБУ СПО «Суводский лесхоз-техникум». В техникуме ведется обучение по специальности «Лесное и лесопарковое хозяйство», а также по родственным специальностям, таким как «Технология деревообработки» и «Охотоведение и звероводство». За 115 лет техникум подготовил около 11000 специалистов. За лесхоз-техникумом закреплен лесной участок в постоянное бессрочное пользование площадью 4,3 тыс.га. Именно на примере данного участка мы и предлагаем создание учебно-полевой базы по охране лесов от пожаров.

Отметим также, что на базе техникума ежегодно проводятся курсы повышения квалификации работников лесного комплекса. Одно из направлений такой подготовки – обучение руководителей тушения крупных лесных пожаров. Ежегодно около 100-150 представителей арендных хозяйств, лесничеств и лесопожарных служб проходят 72-часовые курсы, осваивают теоретический и практический опыт в вопросах борьбы с лесными пожарами, подтверждая тем самым свою компетентность в изучаемых вопросах.

Несмотря на то что проблема лесных пожаров уже достаточно изучена и проработана, постоянно появляются новые технологии и средства тушения, обновляются техника, химикаты для тушения, изменяется нормативно-правовая база. Обучение такого рода специалистов также требует реальной возможности на практике:

- изучить особенности противопожарного устройства,
- выявить достоинства и недостатки противопожарной организации территории,
- проверить себя в решении практических задач в полевых условиях,
- освоить современные технические приемы осуществления предупредительных и ограничительных мероприятий,
- познакомиться с техникой и тактикой различных методов борьбы с огнем,
- получить навыки в вопросах оказания первой помощи в полевых условиях и безопасности жизнедеятельности в целом.

Наличие учебно-полевой базы позволит почувствовать себя в реальности участником (и даже руководителем) тушения лесного пожара.

Интерпретация результатов. Проанализировав природные особенности территории, мы выявили, что они подходят для реализации всех видов знаний и умений в вопросах охраны лесов от пожаров. На территории лесного участка ежегодно возникают низовые лесные пожары, в 2010 году был зарегистрирован переход в верховой пожар. Как и в большинстве регионов России, причиной многих лесных пожаров является нарушение населением правил пожарной безопасности в лесах. Близость к населенным пунктам, к дорогам общего пользования и реке Вятке обуславливает высокую посещаемость лесов для отдыха, сбора недревесной продукции леса, рыбалки и т.п.

По природной горимости присутствуют все классы пожарной опасности с преобладанием 1 и 2 классов, что связано с типологией и значительной долей в лесном фонде хвойных молодняков. Природные условия позволяют показать различные предупредительные и ограничительные мероприятия, особенности и специфику противопожарного обустройства.

Согласно образовательной программе, выпускник техникума по специальности «Лесное и лесопарковое хозяйство» в решении вопросов охраны лесов от пожаров должен обладать определенными знаниями и умениями, указанными в современных образовательных стандартах. Для того чтобы получить все это, необходимо помнить, что изучаемые вопросы являются практически реализуемыми. Это значит, что без возможности увидеть и выполнить работы на практике очень сложно приобрести необходимый опыт. То есть одного теоретического изучения в стенах кабинета недостаточно, необходима возможность оценить и попробовать, как это работает в лесу на практике, так сказать, «потрогать руками» и «проверить на себе».

Как указывает Л. В. Почтаева, при обучении широких слоев населения навыкам пожаробезопасности пребывания в лесу большую роль может сыграть обучение руководителей среднего звена организаций и предприятий, школьных учителей, руководителей туристических кружков, школьных лесничеств и студенческих практик. В дальнейшем они уже могут передавать знания людям, находящимся в их подчинении и

принимать личное участие в организации и проведении мероприятий, направленных на снижение количества лесных пожаров, помогая сотрудникам государственных служб эффективно осуществлять лесопожарную пропаганду [5].

При наличии предлагаемого нами варианта противопожарного обустройства территории лесного фонда обучающийся во время прохождения учебных и производственных практик сможет получить необходимые знания и умения в вопросах охраны лесов от пожаров, а именно в части предупреждения возникновения пожаров и организации территорий лесного фонда.

На сегодняшний день на данном лесном участке уже имеется часть элементов противопожарного устройства. Это аншлаги, места отдыха и курения, минерализованные полосы вдоль дорог и вокруг хвойных молодняков и т.д. Рекомендуем расширить варианты применяемых элементов противопожарного обустройства территорий, ввести разнообразные виды пропаганды и агитации и рассмотреть их эффективность.

Следует проанализировать качество и полезность создаваемых различными почвообрабатывающими орудиями минерализованных полос. Это позволит оценить их результативность в остановке низовых пожаров, выявить оптимальную ширину и кратность полос, определить сроки и количество уходов за ними, а также подобрать подходящий вид и количество в зависимости от объекта – вдоль дорог общего пользования или железных дорог, в местах массового отдыха или вокруг хвойных молодняков.

Особое внимание рекомендуем уделить созданию системы противопожарных барьеров и разрывов, которая позволит разделить территорию лесного участка на противопожарные блоки, а также использованию различных вариантов противопожарных барьеров и заслонов, для того чтобы показать все имеющиеся возможности предупреждения и ограничения распространения лесных пожаров. Можно провести контролируемые выжигания горючих материалов и наглядно показать создание противопожарного барьера с применением горючих материалов, недостаточных для возникновения и распространения огня, а также рассмотреть один из физических принципов прекращения горения – лишение огня пищи.

На объекте представлены все виды естественных противопожарных барьеров – дороги (асфальтовые и грунтовые), реки, ручьи, песчаные россыпи. Это дает возможность имитировать борьбу с лесными пожарами, попробовать правильно расставить силы и средства тушения, определить сильные и слабые стороны в лесном фонде, научиться выявлять и использовать естественные преграды в виде опорных полос и т.д.

Рекомендуем создание противопожарных барьеров различной ширины, так как это позволит на экспериментальной основе определить, какая же ширина барьера будет наиболее эффективна при остановке того или иного вида лесного пожара. В дальнейшем такие данные могут стать основой для разработки новых нормативных материалов по противопожарным барьерам.

Важным моментом считаем возможность показать оборудование для мест забора воды в полевых условиях, мест размещения участников тушения пожаров и их организацию, рассмотреть вопросы эвакуации людей и маневрирования техники.

Отметим, что предлагаемый нами вариант учебно-полевой базы по охране лесов от пожаров сейчас включает в себя только вопросы противопожарного устройства и организации территории. При успешной его реализации на базе данного лесного участка можно будет рассмотреть вопросы обнаружения лесных пожаров, а при пожарно-химической станции лесничества создать учебную базу, раскрывающую технические особенности борьбы с лесными пожарами.

Выводы. При условии полной реализации предлагаемого проекта техникум будет иметь возможность проводить на учебно-полевой базе следующие практические работы:

- изучать и проектировать противопожарные предупредительные и ограничительные мероприятия;
- знакомиться с возможностями проведения профилактических работ;
- изучать физику лесного пожара и реакцию на огонь всех компонентов леса;
- изучать и осваивать различные методы и способы тушения лесных пожаров;
- знакомиться и осваивать новую технику и оборудование для пожаротушения, в том числе учиться применять поверхностно-активные вещества и смачиватели;
- изучать и уметь применять положительную роль огня в лесу;
- осваивать правила оказания первой медицинской помощи в полевых условиях;
- учиться решать ситуационные задачи, связанные с руководством тушения;
- оценивать ущерб от лесных пожаров и находить пути ликвидации негативных последствий и т.д.

На сегодняшний день мы находимся на этапе проектирования учебно-полевой базы. Следующим этапом должна стать реализация предлагаемого варианта Суводским лесхоз-техникумом и внедрение в обучение. Необходимы дальнейшее уточнение и поиск возможностей реализации данной программы уже непосредственно с администрацией техникума. На данный вариант учебной базы в дальнейшем можно опираться как на эталонный при проектировании подобных объектов в других учреждениях СПО и ВПО лесного профиля.

Список литературы

1. Ильмушкин Г.М., Галиуллов Н.Р. Непрерывная многоуровневая подготовка специалистов в условиях технического колледжа // Современные проблемы науки и образования. 2009. № 1. С. 15-16.
2. Щербанева Н.Г., Твелова И.А. Влияние компетентностного подхода на повышение качества подготовки будущих специалистов // Вестник непрерывного образования. 2009. № 3. С. 59-63.
3. Сулягина Н.К. Модульно-компетентностный подход в профессиональном образовании // Совет ректоров. 2011. № 10. С. 57-61.
4. Об утверждении и введении в действие федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 250110 «Лесное и лесопарковое хозяйство»: приказ Министерства образования и науки РФ № 677 от 22 июня 2010 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?Req=doc;base=LAW;n=104819> (дата обращения: 23.03.14).
5. Почитаева Л.В., Ислаев М.Д. Повышение эффективности профилактики лесных пожаров // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2014. № 1. С.42-52.

CREATION OF EDUCATIONAL AND FIELD BASE ON FOREST CONSERVATION FROM FIRES FOR ESTABLISHMENTS OF SECONDARY VOCATIONAL EDUCATION (on the example of suvodsky forestry of technical school of the Kirov region)

Krylova Anna Aleksandrovna

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Training questions in forest technical schools are considered. The key moments of training of specialists in the field of forest conservation from fires are defined. The option of educational base for a practical training on a forest pyrologiya is presented.

Keywords: *educational base, forest fires, fire-prevention device*

УДК 630*581

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИЗА ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ МОЛОДНЯКОВ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД НА ЗАЛЕЖАХ

Лежнин Сергей Анатольевич, Акбаров Одил Мухитдинович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
lejninsa@volgatech.net

Исследуется применимость анализа главных компонент для улучшения дешифрирования молодняков лиственных пород на залежах Республики Марий Эл по спутниковым снимкам среднего разрешения Landsat ETM+

Ключевые слова: анализ главных компонент, MNF-трансформация, тематическое картирование, залежь, спутниковый снимок

Введение. Дешифрирование молодняков лиственных пород на залежах по спутниковым снимкам среднего разрешения Landsat является сложной задачей. Это связано с пространственным разрешением снимков, а также существенным влиянием на спектральные характеристики молодняков наземного травяного покрытия [1]. Спектральные характеристики участков молодняков леса имеют близкие показатели с сельскохозяйственными угодьями и задерненными участками. В связи с этим для повышения точности работы и визуализации признаков дешифрирования молодняков древесных пород на землях залежей требуется спектральное преобразование спутниковых изображений.

Для совершенствования дешифрирования молодняков лиственных пород на залежах возможно применение метода анализа главных компонент (Principal Components Analysis, PCA), представляющего собой анализ многоспектральных коррелированных данных изучаемых объектов. Этот метод был предложен К. Пирсоном в 1901 г. и до настоящего времени применяется во многих областях исследований: распознавание образов, компьютерное зрение, сжатие данных и т.п. Вычисление главных компонент сводится к определению собственных векторов и собственных значений ковариационной матрицы исходных данных. PCA применяется для анализа спектральных характеристик молодняков лиственных пород на залежах, которые обычно имеют близкие значения. Это приводит к тому, что при возрастании яркости пикселей в одном спектральном канале возрастают значения яркости и в других спектральных каналах [2].

Цель работы – исследование возможности использования анализа главных компонент при выявлении молодняков лиственных пород на залежах.

Решаемые задачи: 1) заложить пробные площади (тестовые участки) на территории залежных земель Республики Марий Эл для создания и оценки точности тематических карт распределения молодняков лиственных пород; 2) подобрать мультиспектральные снимки Landsat ETM+ за 2013 г. на исследуемую территорию, которые были преобразованы с помощью MNF-трансформации; 3) провести тематическую классификацию снимков до и после трансформации для выявления площадей зарастания залежей молодняками лиственных пород с оценкой точности.

Техника эксперимента и методика исследований. Полевые исследования проводились с 2007 по 2012 год. Было заложено 205 тестовых участков на залежах, зарастающих молодняками древесных пород. Часть тестовых участков использовалась в

качестве вспомогательных для тематического картирования, вторая часть – для оценки точности полученных тематических карт. Тестовые участки закладывались в местах зарастания залежей древесной растительностью от близлежащей стены леса. Координаты каждой пробной площади фиксировались с помощью GPS-приёмника GARMIN eTrex.

Для тематического картирования были подобраны снимки Landsat ETM+ на исследуемую территорию. Снимки прошли радиометрическую и геометрическую обработку уровня 1G.

На первом этапе работы проводилось тематическое картирование растительного покрова на землях сельскохозяйственного фонда по синтезированным снимкам Landsat в сочетании 5-4-1 каналов как наиболее информативного изображения для выделения земель запаса [5].

На втором этапе для улучшения разделимости классов лиственных молодняков и сельскохозяйственных полей все снимки прошли преобразование с помощью одного из способов анализа главных компонент, а именно трансформации доли минимальных «шумов» (Minimum noise fraction transform, MNF-трансформация). MNF-трансформация позволяет выделить «шум» в данных и облегчить процесс последующей обработки изображения [3].

Этот тип трансформации спектральных признаков был разработан американскими исследователями [4] и состоит из двух этапов. Во время первого этапа РСА многоспектральный снимок анализируется на наличие так называемых «чистых» и «шумовых» классов. Во время второго этапа проведения РСА главные компоненты классов с «шумом» в разных спектральных каналах разделяются на параллельные и перпендикулярные. Это позволяет не только выделить и визуально идентифицировать участки классов с «шумом», к которым относятся интересующие нас участки с естественным возобновлением молодняков древесных пород, но также разделить эти породы на хвойные и лиственные насаждения.

Для оценки применимости анализа главных компонент при выявлении молодняков лиственных пород на залежах проводилось тематическое картирование трансформированных снимков с оценкой точности полученной тематической карты.

Результаты исследований. Тематическая карта, полученная на первом этапе исследования, имела высокую фрагментированность и низкую точность (рис. 1, табл. 1).

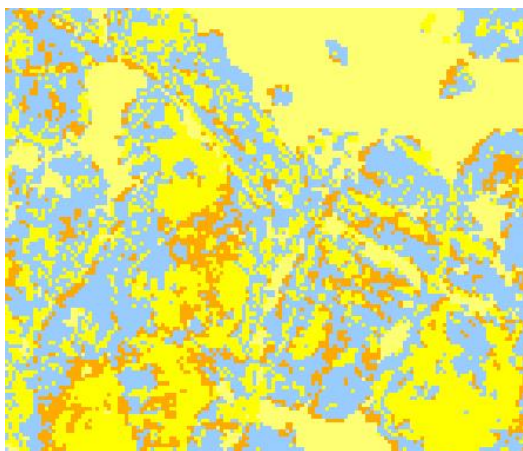


Рис. 1. Фрагмент тематической карты сельскохозяйственных земель Сернурского района с участками зарастания хвойными и лиственными породами

Таблица 1

Матрица различий тестовых участков с картографическими данными

	С.-х. угодья	Лиственные молодняки	Хвойные молодняки	Итого
С.-х. угодья	75	17	9	101
Лиственные молодняки	21	30	0	51
Хвойные молодняки	2	7	16	25
Итого	98	54	25	177

По данным таблицы 1, из 51 участка для проверки молодняков лиственных пород в класс попали 30, что составляет 58%. Общая точность полученной тематической карты составила 68%. Коэффициент Каппа достигает 0,52, что говорит об умеренной согласованности тематической карты с эмпирическими данными. Наибольшую погрешность в создание тематической карты внесли молодняки лиственных пород на землях залежей. Они зачастую совпадали с участками сельскохозяйственных земель. Учитывая эти данные, можно сказать, что выделение участков зарастания залежей лиственными молодняками леса без спектрального преобразования снимков является сложным процессом с достаточно низкой точностью.

Результатом проведения MNF-трансформации для синтезированного в сочетании 5-4-1 снимка Landsat является изображение, на котором визуально выделяются необходимые для исследования классы наземного покрова (рис. 2).

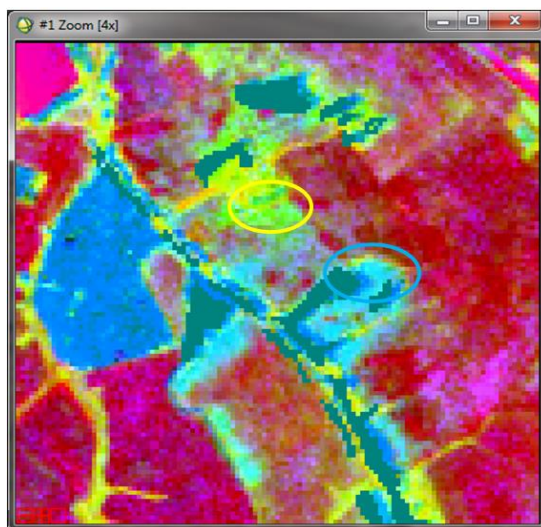


Рис. 2. Снимок Landsat в синтезе 5-4-1 после проведения MNF-трансформации.
Цветными овалами выделены участки с древесной растительностью:
желтым – зарастание березой; синим – зарастание сосной

Как видно из рисунка 2, участки земель залежей, которые активно зарастают молодой древесной растительностью, после процедуры MNF-трансформации для синтеза спектральных каналов 5-4-1 Landsat хорошо видны визуально и различаются как от растительности полей и кустарниковой растительности, так и могут разделяться между собой по породному составу. Участки, зарастающие молодыми лиственными породами, на снимках отмечаются явным преобладанием зеленой цветовой гаммы; участки хвойной растительности на землях залежей окрашены в оттенки голубого цвета. Соот-

ветственно, классификация данной комбинации каналов спутникового снимка позволит выделить нам участки зарастания залежей Республики Марий Эл лиственными породами.

Разделимость молодняков (хвойных и лиственных) и сельскохозяйственных угодий после проведения MNF-трансформации подтверждена пороговыми значениями выделяемых классов на синтезированном снимке Landsat до и после трансформации (табл. 2).

Таблица 2

Пороговые значения классов на снимке Landsat, синтезированном в сочетании 5-4-1

Класс	Спектральные значения			
	Min	Max	Среднее	Стандартное отклонение
	До спектрального преобразования			
Хвойные молодняки	88	150	122	19,63
Лиственные молодняки	83	198	154	29,84
Сельскохозяйственные угодья	107	235	168	40,79
	После спектрального преобразования			
	Min	Max	Среднее	Стандартное отклонение
	После спектрального преобразования			
Хвойные молодняки	2,43	9,13	6,33	2,06
Лиственные молодняки	8,23	17,79	14,64	2,69
Сельскохозяйственные угодья	15,25	25,66	20,29	3,11

Диапазоны спектральных значений выделяемых нами классов (хвойные, лиственные и сельскохозяйственные угодья) на синтезированном изображении в значительной степени близки друг другу, что не позволяет точно разделить эти классы при классификации (табл. 2). После проведения спектрального преобразования диапазоны значений изучаемых классов различаются более существенно, что способствует повышению разделимости классов при классификации.

Тематическое картирование растительного покрова на землях сельскохозяйственного фонда по трансформированным снимкам Landsat в сочетании 5-4-1 каналов показало высокую точность (рис. 3, табл. 3).

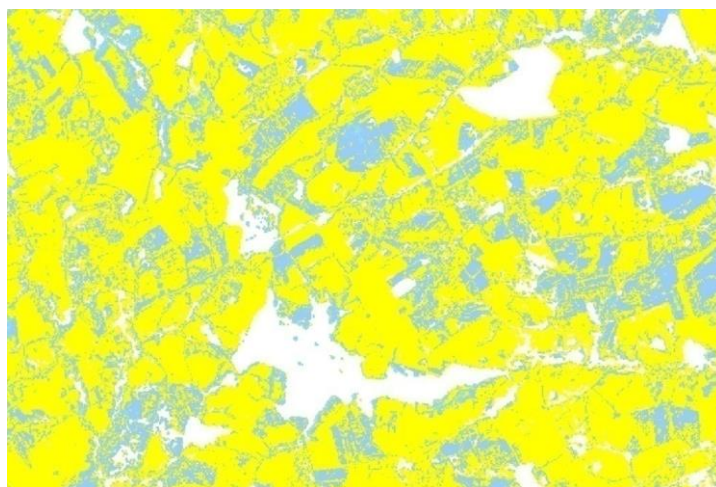


Рис. 3. Фрагмент тематической карты сельскохозяйственных земель с выделением участков зарастания молодняками лиственных пород

Таблица 3

Матрица различных тестовых участков с картографическими данными

	С.-х. угодья	Лиственные молодняки	Хвойные молодняки	Итого
С.-х. угодья	89	7	5	101
Лиственные молодняки	9	42	0	51
Хвойные молодняки	0	0	25	25
Итого	98	49	30	177

Из 101 тестового участка сельскохозяйственных угодий в класс сельскохозяйственных угодий попали 89 участков (точность тематического картирования составляет 88%); из 51 участка для проверки молодняков лиственных пород в класс попали 42, что составляет 82% (табл. 3). Коэффициент Каппа достигает 0,81, что говорит о высокой согласованности тематической карты с эмпирическими данными.

Выводы. Проведенное исследование показало высокую важность спутниковых снимков Landsat ETM+ для выявления участков зарастания залежей молодняками леса.

Использование методики разделимости классов растительного покрова на спутниковых снимках Landsat с применением MNF-трансформации (минимальных шумов) обосновано высокой точностью тематического картирования и пороговыми значениями спектральных классов.

Список литературы

1. Дистанционный мониторинг динамики нарушений лесного покрова, лесовозобновления и лесовосстановления в Марийском Заволжье / Курбанов Э.А. [и др.] // Вестник Марийского государственного технического университета. 2011. № 3. С. 17-24.
2. Spectral correlation of natural ground terrain images at the spectral range of 0.4/1.05 um (Conference Paper): Proceedings of SPIE / Agassi E., Nissim B.-Y., Wietz A., Vashdi Y. // The International Society for Optical Engineering, 8th Meeting on Optical Engineering in Israel: Optical Engineering and Remote Sensing. Tel Aviv, Isr. 1993. Vol. 1971. P. 160-169.
3. Boardman J. W., Kruse F. A. Automated spectral analysis: a geological example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains, Nevada: in Proceedings, ERIM Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing // Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI. 1994. P. 407-418.
4. A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal / A.A. Green, M. Berman, P. Switzer, M.D. Craig // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 1988. Vol. 26, № 1. P. 65-74.
5. Quinn J. W. Summary of Band Combinations. 2001. URL: http://web.pdx.edu/~nauna/resources/10_BandCombinations.htm

**USAGE OF THE PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS TO IDENTIFY
YOUNG DECIDUOUS GROWTH ON FALLOW LANDS**

Lezhnin Sergey Anatolievich, Akbarov Odil Muhitdinovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Applicability of principal component analysis to improve decoding of young deciduous growth on fallow lands of the Republic of Mari El on middle resolution satellite images Landsat ETM + is studied.

Keywords: *principal component analysis, MNF-transformation, thematic mapping, fallow lands, satellite image*

УДК 630*91

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ

Полевщикова Юлия Александровна, Меньшиков Сергей Александрович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
polevshikovaya@volgatech.net

Предложена методика оценки динамики растительного покрова для решения прикладных задач в лесном хозяйстве. Использование данных спутниковой съемки и современных программных пакетов позволяет получать качественную и надежную информацию для принятия решений в области экологии и природопользования.

Ключевые слова: растительный покров, мониторинг, спутниковые снимки, дистанционное зондирование, тематическая карта, динамика изменений

Введение. Анализ динамики состояния растительного покрова представляет собой выявление изменений и формирование данных о причинах сукцессии экосистем. Изменения растительного покрова могут быть вызваны либо вмешательством антропогенного характера, либо влиянием природного воздействия. Эти изменения происходят в различных пространственных и временных масштабах по всему миру и все чаще контролируются через мониторинг с использованием данных спутниковой съемки. Высокий уровень точности выявления изменений необходим при ведении соответствующей экологической политики и принятии решений в системе устойчивого управления лесным хозяйством. В частности, надежные оценки изменения наземного покрова имеют большое значение для многих международных организаций в области изменения климата, таких как Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата, Киотский протокол, Программы по сокращению выбросов и деградации лесов [1, 2].

Существуют различные методы анализа динамики растительного покрова [3]. Их можно разделить на три группы:

- выявление изменений по спутниковым снимкам с последующим назначением классов изменения (метод анализа главных компонент);
- выявление изменений с использованием методов классификации изображений;
- выявление изменений посредством интеграции методов дистанционного зондирования (ДЗЗ) и геоинформационных систем (ГИС) на основе попиксельного и объектно-ориентированного анализа изменений [4].

Ни один из этих методов не является оптимальным в своем роде и не может быть применен ко всем случаям одновременно. В работах в основном используются комбинации перечисленных методов в связи с разными дефектами используемых спутниковых снимков. В литературных источниках до сих пор можно встретить применение классических методов классификации для сравнения тематических карт [5-7]. Данные методы определяют направление изменений в отличие от автоматического проведения разницы нескольких изображений.

При анализе динамики растительного покрова существуют основные источники ошибок [8], которые приводят к отрицательным результатам. Это погрешности в отношении данных спутниковой съемки и классификации ошибок тематических карт,

облачность спутниковых снимков, наличие теней, радиометрические искажения и многое другое.

Значение важности получения точной и своевременной информации, которая бы описывала характер и масштабы распространения растительного покрова и изменения его с течением времени, растет с каждым днем. Методы оценки и анализа динамики растительного покрова совершенствуются с каждым годом, преодолевая трудности при решении проблем и исправлении ошибок, разрушая стереотипы использования разновременных данных различной спутниковой съемки. Для получения точных данных и экономической выгоды при анализе динамики растительного покрова за продолжительный период времени важно использовать качественные данные с целью устойчивого управления лесными ресурсами и последующего принятия правильных решений в лесном секторе.

Цель работы – разработать методику оценки динамики растительного покрова на территории Среднего Поволжья с использованием данных спутниковой съемки среднего разрешения.

Решаемые задачи: 1) подбор разновременных мультиспектральных спутниковых снимков Landsat на исследуемую территорию; 2) формирование тематических карт на основе легенды классов растительного покрова; 3) формирование тематической карты динамики растительного покрова с использованием модулей программного пакета ArcGIS.

Территория исследования – Среднее Поволжье, расположенное в южной части Приволжского федерального округа (рис. 1), включает в себя следующие регионы: Республика Татарстан, Самарская, Саратовская, Ульяновская и Пензенская области. Территория представлена равнинным рельефом, местами встречаются низменности и всхолмленные равнины.



Рис. 1. Приволжский федеральный округ

Объекты исследования – площади лесных и нелесных классов на территории Среднего Поволжья в пределах сцены спутникового изображения Landsat.

Техника и методика научного исследования. В качестве материала исследования была сделана подборка сцен разновременных безоблачных спутниковых снимков Landsat 2001 и 2011 гг. на исследуемую территорию Среднего Поволжья. Каждый спутниковый снимок прошел процедуру преобразования «Tasseled Cap» [9].

Следующим шагом стала разработка легенды классов растительного покрова Среднего Поволжья. В качестве назначения классов использовались система классификации почвенно-растительного покрова FAO и методика международного проекта NELDA [10], которая основана на системе иерархичности классов легенды согласно господству жизненных форм. Для разделения классов лесного покрова рассматривались таксационные характеристики выделов, установленные при лесоустройстве.

На основе сформированной легенды классов растительного покрова проводилась неуправляемая классификация спутниковых снимков способом IsoDATA в программном пакете ENVI 5.0. В итоге были сформированы тематические карты растительного покрова на территорию Среднего Поволжья за изучаемые периоды времени. Оценка точности выполнялась на основе расчета матрицы ошибок и коэффициента Каппа. Результаты показали значительную степень надежности и согласованности полученных данных с наземными исследованиями.

Для последующего анализа полученных карт были использованы дополнительные модули программного комплекса ArcGIS («Spatial Analyst»). В основе работы было сравнение классов растительного покрова по картам разных лет (рис. 2).

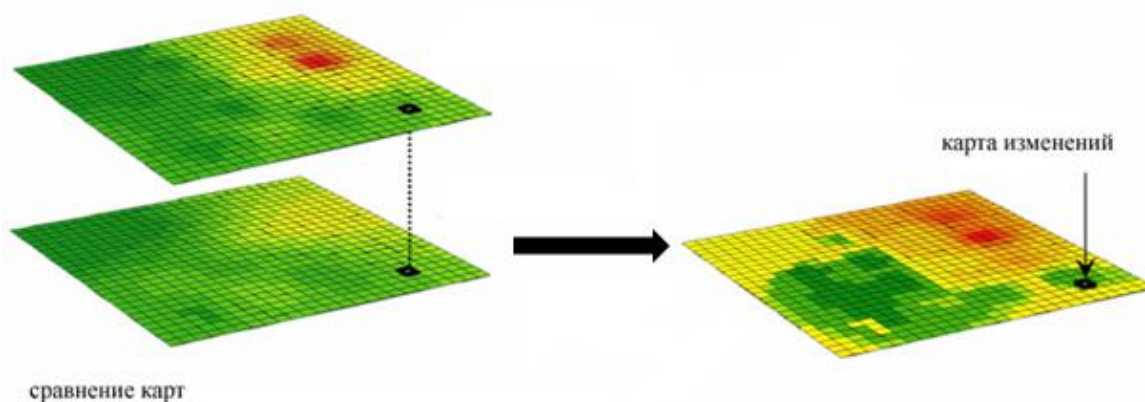


Рис. 2. Сравнение тематических карт

Суть метода представляет собой попиксельное наложение растровых изображений и, как результат, получение тематической карты динамики в классах (увеличение/уменьшение площади, переход из одного класса в другой, неизменные участки). Анализ разновременных тематических карт позволяет отслеживать изменения в растительном покрове.

Результаты исследования. Разработана комплексная методика оценки динамики растительного покрова на территории Среднего Поволжья с использованием данных спутниковой съемки среднего разрешения Landsat. Представленная методика позволяет отслеживать произошедшие изменения и проводить мониторинг текущих изменений в растительном покрове.

Применяемые в работе спутниковые снимки среднего разрешения Landsat прошли процедуру линейного преобразования «Tasseled Cap» для искажений в пространстве спектральных характеристик.

Легенда тематических классов растительного покрова стала основой при формировании тематических карт исследуемой территории Среднего Поволжья за разные периоды времени. Выбранные классы представлены объектами лесных насаждений со свойственными им спектральными характеристиками и объектами нелесного растительного покрова.

Тематическое картирование осуществлялось по алгоритму неуправляемой классификации, в результате чего были получены детальные карты за рассматриваемые периоды времени (2001 и 2011 гг.). Оценка точности сформированных тематических карт показала значительную степень согласованности с наземными данными, согласно критериям геостатистики.

Полученная тематическая карта динамики растительного покрова представлена классами изменения растительного покрова за исследуемый период времени, включая уменьшение и увеличение площадей растительного покрова, переходы из одного класса в другой, площади без изменений. Причиной проявившихся изменений послужил ряд факторов, таких как пожары, вырубки, лесовосстановления и другие.

Выводы. На сегодняшний день не существует детальных картографических материалов, дающих полное представление об изменении растительного покрова Среднего Поволжья. Поэтому следующим шагом станет создание детальной тематической карты изменения как лесных, так и нелесных территорий. Разработанная методика будет использована в дальнейших наших исследованиях при анализе произошедших изменений с учетом социально-экономических факторов.

Список литературы

1. UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. 2012. URL: <http://unfccc.int/2860.php> (дата обращения 20.04.2014).
2. UN-REDD. The United Nations collaborative Programme on Reducing Emissions from Deforestation and Degradation in developing countries. 2012. URL: <http://www.un-redd.org/Home/tabid/565/Default.aspx> (дата обращения 20.04.2014).
3. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review / COPPIN P.R., JONCKHEERE I., NACKAERTS K., MUYS B. et al. // International Journal of Remote Sensing. 2004. Vol. 25. P. 1565-1596.
4. An automated approach for segmenting and classifying a large sample of multi-date Landsat imagery for pan-tropical forest monitoring / RASI R., BODART C., STIBIG H.-J. et al. // Remote Sensing of Environment. 2011. Vol. 115. P. 3659-3669.
5. Land use and land cover change detection in the western Nile delta of Egypt using remote sensing data / ABD EL-KAWY O.R., RØD J.K., ISMAIL H.A., SULIMAN A.S. // Applied Geography. 2011. Vol. 31. P. 483-494.
6. AHLQVIST O. Extending post-classification change detection using semantic similarity metrics to overcome class heterogeneity: A study of 1992 and 2001 U.S. National Land Cover Database changes // Remote Sensing of Environment. 2011. Vol. 112. P. 1226-1241.
7. Forest cover change and illegal logging in the Ukrainian Carpathians in the transition period from 1988 to 2007 / KUEMMERLE T., CHASKOVSKYY O., KNORN J. et al. // Remote Sensing of Environment. 2009. Vol. 113. P. 1194-1207.
8. VAN OORT P.A.J. Improving land cover change estimates by accounting for classification errors // International Journal of Remote Sensing. 2005. Vol. 26. P. 3009 - 3024.
9. Тематическое картирование и стратификация лесов Марийского Заволжья по спутниковым снимкам Landsat / Курбанов Э.А. [и др.] // Вестник Поволжского

государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 3. С. 82-92.

10. Loboda, T., Krankina, O., Kurbanov, E. Understanding Origins and Impacts of Drought // Impacts of Extreme Weather on Natural, Socio-economic, and Land-Use Systems: Focus on the 2010 Summer Anomaly in the Volga Region. Yoshkar-Ola, Russia. 2012. Eos, Vol. 93, No 42. P. 417.

ANALYSIS OF DYNAMICS OF LAND COVER USING SATELLITE IMAGE DATA

Polevshchikova Iuliia Alexandrovna, Menshikov Sergey Alexandrovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The method of estimation of land cover dynamic for applications to forestry is considered in article. Use of satellite images data and modern software package allows to get the high-quality and reliable information for decision making.

Keywords: land cover, monitoring, satellite images data, remote sensing, thematic mapping, change detection

УДК 630.232

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕСЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В СУБСТРАТ ИЗ ВЕРХОВОГО ТОРФА НА РОСТ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В КОНТЕЙНЕРАХ

Толчин Александр Эдуардович, Мухортов Дмитрий Иванович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
TolchinAE@volgatech.net

Приведены результаты исследования влияния внесения комплексных минеральных удобрений в субстрат из верхового торфа при основной заправке на рост контейнерных сеянцев сосны обыкновенной. Определены оптимальные дозы внесения данных удобрений для достижения максимальных биометрических показателей сеянцев сосны при выращивании в контейнерах.

Ключевые слова: комплексные минеральные удобрения, контейнерные сеянцы, сосна обыкновенная, верховой торф, субстрат

Введение. В настоящее время известно множество компонентов для приготовления питательного субстрата при выращивании сеянцев древесных растений в контейнерах, таких как опил, солома, навоз КРС, куриный помет, осадки сточных вод, иловый осадок и торф низовых, переходных и верховых болот, и другие, но на практике большое распространение получил слаборазложившийся верховой торф [3, 5, 6].

На территории Республики Марий Эл и Среднего Поволжья отсутствуют значительные залежи верхового (сфагнового) торфа, вследствие чего промышленная заготовка не осуществляется, а использование низовых торфов ввиду их плохих физических свойств, наличия семян сорных растений и болезнетворных грибов значительно ухудшают качество лесопосадочного материала.

Верховой торф имеет наиболее оптимальные параметры по влагоудерживающей способности, пористости, воздушной емкости, а также не содержит в себе вредных болезней и семян сорных растений, что особенно важно при выращивании древесных сеянцев [1]. Наряду с множеством преимуществ верхового торфа, основным его недо-

статком является бедность питательными элементами, необходимыми для нормально-го роста растений [2, 4].

Данный недостаток легко устраняется за счет внесения в верховой торф минеральных удобрений. Сегодня для тепличных лесопитомнических хозяйств субстраты на основе верхового торфа закупаются с северо-западной части России, преимущественно в Псковской области. Однако предприятия значительно удорожают стоимость таких субстратов за счет применения дорогих комплексных минеральных удобрений иностранного производства. Такие затраты на производство субстрата из верхового торфа можно снизить с использованием отечественных недорогих комплексных минеральных удобрений.

Проблема выбора удобрения и дозы его внесения при основной заправке в торф является актуальной, так как при малой дозе внесения уменьшается концентрация питательных веществ в органах растений. Такие растения испытывают «голод» и характеризуются низкими линейными параметрами и массой сухого вещества. Однако при чрезмерно высокой дозе внесения, в особенности фосфорными удобрениями, происходит отравление растений, что приводит к их гибели.

Цель работы – исследование влияния внесения различных доз и видов комплексных минеральных удобрений при основной заправке на биометрические характеристики семян сосны обыкновенной при выращивании в контейнерах «Ардатов-40».

Решаемые задачи: 1) выбор видов комплексных минеральных удобрений для исследования; 2) определение вариантов доз внесения комплексных минеральных удобрений при основной заправке в верховой торф; 3) определение средних биометрических показателей семян сосны обыкновенной по вариантам; 4) построение регрессионных моделей с определением оптимальной дозы внесения комплексных минеральных удобрений в верховой торф.

Техника эксперимента. В качестве вариантов нами использовались три вида отечественных комплексных минеральных удобрений – «Универсал», «Клубника», «Цветы». Данные виды комплексных минеральных удобрений характеризуются различным процентным соотношением по основным питательным элементам, таким как азот, фосфор и калий. Для контроля использовался слаборазложившийся верховой торф без внесения минеральных удобрений.

В таблице 1 представлены основные характеристики комплексных минеральных удобрений, а также их варианты и дозы внесения в верховой торф.

Таблица 1

Характеристика исследуемых комплексных минеральных удобрений

Наименование удобрения	Процентное соотношение основных питательных элементов		
	Азот	Фосфор	Калий
«Универсал»	17	12	21
«Клубника»	14	7	29
«Цветы»	16	11	29

Анализируя характеристики исследуемых комплексных минеральных удобрений, установлено, что в удобрениях «Универсал» и «Цветы» содержание азота и фосфора составляет 16-17 % и 11-12 % соответственно. Наибольшее процентное содержание калия в удобрениях «Клубника» и «Цветы», составляющее 29%.

С помощью смесителя удобрения равномерно смешивались с верховым торфом, а затем полученный питательный субстрат заполнялся в пластиковые кассеты «Арда-

тов-40» и производился высеив семян сосны обыкновенной. Дозы внесения комплексных минеральных удобрений в верховой торф составляли 6 вариантов с градацией по 0,2 кг/м³. Каждый вариант включал 3 повторности по 100 растений в каждой.

В течение вегетационного периода за растениями проводились агротехнические уходы и периодические поливы. После образования верхушечной почки, растения извлекались из кассет. В лабораторных условиях у растений определялись биометрические показатели: диаметр корневой шейки (мм), длина осевого стволика (см), масса растений в переводе на 100 штук (г).

Анализ результатов. С помощью пакета Excel у измеренных растений определялись средние статистические показатели, такие как диаметр корневой шейки, высота стволика и масса сеянцев (табл. 2).

Таблица 2

Зависимость средних биометрических показателей сеянцев сосны обыкновенной от вида и дозы внесения минеральных удобрений при выращивании в кассетах «Ардатов-40»

Наименование удобрения	Доза внесения, кг/м ³	Средние показатели сеянцев		
		Диаметр корневой шейки, мм	Высота стволика, см	Масса 100 сеянцев, г
«Универсал»	1,0	1,2	6,1	43,2
	1,2	1,2	6,1	46,4
	1,4	1,3	7,4	49,4
	1,6	1,2	6,2	50,4
	1,8	1,2	6,1	53,4
	2,0	1,2	5,8	51,9
«Клубника»	1,0	1,4	6,3	45,4
	1,2	1,4	7,3	50,4
	1,4	1,6	8,3	58,0
	1,6	1,4	7,2	57,2
	1,8	1,3	6,0	52,9
	2,0	1,4	6,2	42,1
«Цветы»	1,0	0,4	5,1	40,4
	1,2	1,0	6,1	44,5
	1,4	1,3	7,0	50,9
	1,6	1,3	7,2	53,8
	1,8	1,4	6,2	51,6
	2,0	1,2	6,1	46,6
Контроль	0,0	0,4	5,1	34,9

Проведен анализ зависимости средних биометрических показателей сеянцев сосны обыкновенной от вида и дозы внесения минеральных удобрений в верховой торф (см. табл. 2). При внесении минерального удобрения «Универсал» наибольший диаметр корневой шейки и высота стволика наблюдается при дозе внесения 1,4 кг/м³ и составляют 1,3 мм и 7,4 см соответственно, а наибольшая масса 100 растений наблюдается при дозе внесения 1,8 кг/м³ и составляет 53,4 г.

При использовании минерального удобрения «Клубника» наибольшие биометрические показатели имеют сеянцы при дозе внесения 1,4 кг/м³. Так, диаметр корневой шейки сеянцев сосны составляет 1,6 мм, высота стволика – 8,3 см, масса 100 растений – 58,0 г.

При внесении комплексного минерального удобрения «Цветы» наибольшие значения диаметра корневой шейки (1,4 мм) наблюдаются при дозе внесения 1,8 кг/м³.

При дозе внесения удобрения «Цветы» 1,6 кг/м³ в торф максимальные значения высоты стволика и биомассы 100 растений составляют 7,2 см и 53,8 г соответственно.

Для определения оптимальной дозы внесения комплексных минеральных удобрений в верховой торф для выращивания контейнерных сеянцев сосны обыкновенной необходимо построить математическую модель роста растений в зависимости от дозы удобрения. Для получения зависимостей показателей роста сеянцев сосны от доз внесения минеральных удобрений различных видов был использован регрессионный анализ с построением нелинейных моделей на базе программного обеспечения «Statistica-6.1». За основу математической модели принята функция: $y=a \cdot x^{(b-1)} \cdot \exp(-c \cdot x^b)+d$. Анализ расчета оптимальных доз внесения комплексных минеральных удобрений в верховой торф при основной заправке (табл. 3) для достижения максимальных параметров сеянцев сосны при использовании удобрения «Универсал» показал, что оптимальная средняя доза составляет 1,63 кг/м³.

Таблица 3

Оптимальные дозы внесения комплексных минеральных удобрений в верховой торф

Биометрические показатели	Единица измерения	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации	Оптимальная доза внесения, кг/м³	Средняя оптимальная доза внесения, кг/м³
«Универсал»					
Диаметр шейки корня	мм	$y=x^{1,6} \cdot \exp(-0,2 \cdot x^{1,7})+0,4$	0,79	1,8	1,63
Высота стволика	см	$y=0,3 \cdot x^{3,9} \cdot \exp(-0,1 \cdot x^{4,8})+5,1$	0,87	1,5	
Биомасса 100 растений	г	$y=9,1 \cdot x^{2,1} \cdot \exp(-0,1 \cdot x^{3,1})+34,9$	0,93	1,6	
«Клубника»					
Диаметр шейки корня	мм	$y=1,3 \cdot x^{1,1} \cdot \exp(-0,2 \cdot x^{2,1})+0,4$	0,98	1,6	1,50
Высота стволика	см	$y=0,7 \cdot x^{6,3} \cdot \exp(-0,1 \cdot x^{7,3})+5,7$	0,95	1,3	
Биомасса 100 растений	г	$y=10,6 \cdot x^{3,8} \cdot \exp(-0,1 \cdot x^{4,8})+35,0$	0,99	1,6	
«Цветы»					
Диаметр шейки корня	мм	$y=0,4 \cdot x^{1,8} \cdot \exp(-0,3 \cdot x^{2,8})+1,0$	0,93	1,3	1,47
Высота стволика	см	$y=0,5 \cdot x^{5,2} \cdot \exp(-0,1 \cdot x^{6,2})+6,1$	0,97	1,4	
Биомасса 100 растений	г	$y=5,9 \cdot x^{3,9} \cdot \exp(-0,1 \cdot x^{4,9})+34,8$	0,99	1,7	

При использовании минерального удобрения «Клубника» оптимальная доза внесения при основной заправке составляет 1,5 кг/м³, а при использовании удобрения «Цветы» – 1,47 кг/м³. Рассчитанные коэффициенты детерминации более 0,7 говорят о достоверности данных результатов.

Выводы

1. Исследуя зависимость биометрических показателей сеянцев сосны обыкновенной при выращивании в пластиковых кассетах «Ардат-40» от вида и дозы внесения комплексных минеральных удобрений в верховой торф при основной заправке, установили, что наилучшие показатели имеют сеянцы, выращенные на верховом торфе при использовании удобрения «Клубника» с дозой внесения 1,4 кг/м³.

2. Оптимальные средние дозы внесения комплексных минеральных удобрений в верховой торф после расчета математической модели изменения биометрических по-

казателей сеянцев сосны следующие: «Универсал» – 1,63 кг/м³, «Клубника» – 1,5 кг/м³, «Цветы» – 1,47 кг/м³.

Список литературы

1. Ушнурцев А.В. Выращивание сеянцев сосны и лиственницы в контейнерах для создания лесных культур в условиях Республики Мордовия [Текст]: дис. канд. с.-х. наук / науч. рук. Е. М. Романов. Йошкар-Ола: [б. и.], 2004. 174 с.
2. Иганиус Г.А. Выращивание посадочного материала в теплицах с синтетическим покрытием. М.: Лесная промышленность, 1974. 239 с.
3. Жигунов А.В. Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой / Федеральная служба лесного хозяйства России, С.-Петербург. НИИ лесного хозяйства. СПб: СПбНИИЛХ, 2000. 294 с.
4. Mathers H.M. A place to stand and a place to grow // Arner. Nurseryman. 2004. Vol. 199(6). P. 26-31.
5. Raviv M.R., Medina S. Physical characteristics of separated cattle manure compost. Compost Sci., 1997. Util.:44-47.
6. Мухортов Д.И., Романов Е.М. Утилизация органических отходов при искусственном лесовосстановлении // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 3. С. 20-35.

**STUDY OF MAKING COMPLEX FERTILIZERS IN PEAT SUBSTRATE
FROM THE GROWTH PINE SEEDLINGS IN CONTAINERS**

Tolchin Alexander Eduardovich, Muhortov Dmitri Ivanovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The results of studies of the effect of making complex fertilizers in the substrate of peat at the main fueling the growth of containerized Pinus sylvestris seedlings. The optimal dose of fertilizer entering data for maximum biometric indicators of pine seedlings when grown in containers.

Keywords: complex fertilizers, container seedlings, Pinus sylvestris, horse peat substrate

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ И МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.382:61.001.8

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ЗРИТЕЛЬНОГО УТОМЛЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ ВИДЕОДИСПЛЕЙНЫХ ТЕРМИНАЛОВ

Алиев Марат Туфикович, Белов Дмитрий Александрович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
AlievMT@volgatech.net

Предлагаются способ и аппаратно-программный комплекс исследования степени зрительного утомления по динамике значения времени ощущения операторов видеодисплейных терминалов.

Ключевые слова: время ощущения, аппаратно-программный комплекс, алгоритм, зрительное утомление, видеодисплейный терминал, световой импульс

Введение. В сфере профессиональной деятельности человека длительное влияние внешних и внутренних факторов трудового процесса приводит к формированию повышенной психоэмоциональной напряженности и хронической усталости.

В настоящее время одним из видов трудовой деятельности является оператор видеодисплейных терминалов или персональных компьютеров (ПК). В свою очередь, длительное воздействие и напряженная зрительная работа при близком расстоянии к ПК приводят к развитию новых форм функциональных зрительных расстройств, связанных с нейрофизиологической нагрузкой на зрительный анализатор, – зрительному утомлению.

В связи с широким внедрением ПК и видеодисплейных терминалов проблемы зрительного утомления затрагивают не только профессиональных операторов, но и большой круг пользователей на производстве, в учебных заведениях и в домашних условиях.

С целью возможности прогнозировать функциональное состояние человека при длительном воздействии нагрузки на зрительный анализатор необходимо тщательное изучение степени зрительного утомления. На основе этих исследований должны быть выработаны рекомендации по проведению тренировок и возможной компенсации вредного влияния специфических и прочих стресс-факторов.

Зрительное утомление чрезвычайно трудно поддается количественному учету и оценке. Обилие фактов, свидетельствующих о разнообразии симптомов утомления, и множество методических подходов, используемых в практике физиологических исследований, не способствовали созданию общепринятой теории зрительного утомления и разработке надежных способов его диагностики [1].

Цель работы – разработать систему для исследования и оценки степени зрительного утомления.

Решаемые задачи: 1) разработать аппаратно-программный комплекс для диагностики зрительного утомления; 2) провести исследования, позволяющие оценить степень зрительного утомления.

Техническое моделирование. Для оценки степени зрительного утомления разработан аппаратно-программный комплекс, в состав которого входит устройство предъявления парных световых импульсов и программное обеспечение под управлением ОС семейства Windows NT (структурная схема представлена на рис. 1). В прикладной программе реализован способ измерения времени ощущения зрительного анализатора для оценки степени зрительного утомления, основанный на методе последовательного приближения с дискретным изменением длительности межимпульсного интервала парных импульсов с шагом 0,5 и 0,1 мс [2, 3].

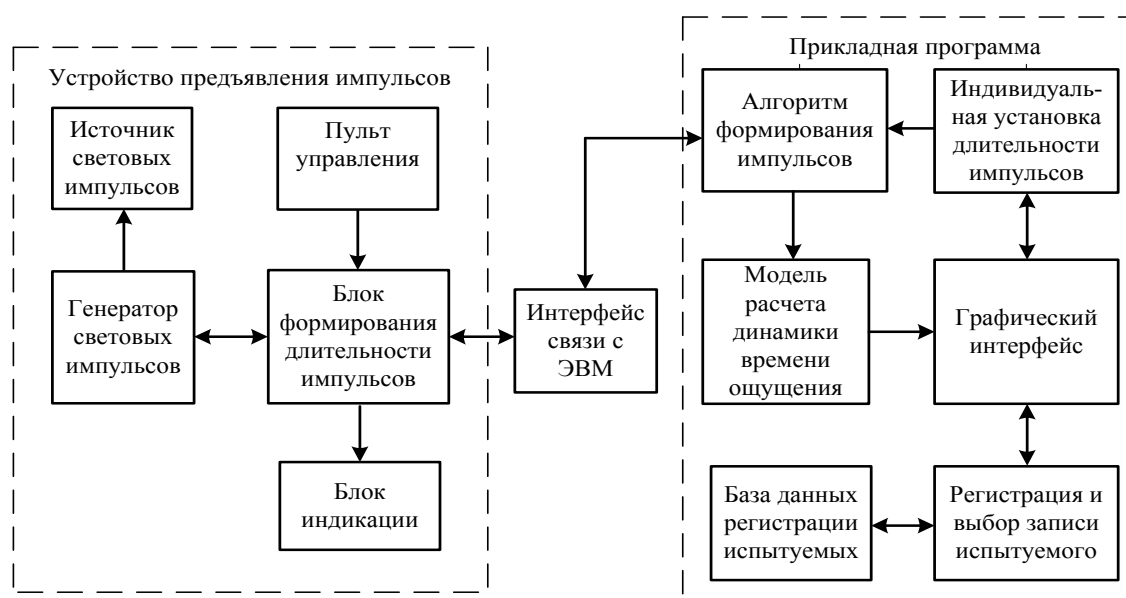


Рис. 1. Структурная схема аппаратно-программного комплекса

Предложенный способ позволяет уменьшить время подготовительного периода, упростить процедуру исследований, проводить их без использования сложного оборудования в естественных условиях.

В аппаратно-программном комплексе реализованы два режима: режим настройки алгоритма формирования парных импульсов, предназначенный для достижения минимальной временной задержки, и пользовательский режим, который обеспечивает индивидуальную установку импульсов [4].

Режим настройки алгоритма генерации импульсов обеспечивает следующие функции: автоматический выбор портов ввода/вывода; считывание и изменение состояния регистров портов ввода/вывода; управление активностью сигнала на соответствующих линиях; выбор режима работы алгоритма формирования парных импульсов; точность измерения времени ощущения; выбор уровня приоритета программы.

Пользовательский режим позволяет установить: количество световых импульсов в пачке; временной интервал повторения импульсов; длительность световых импульсов в пачке; начальную установку и изменение межимпульсного интервала; формирование базы данных.

Устройство работает следующим образом. При подключении пульта предъявления импульсов к ПК через интерфейс связи программное обеспечение принимает текущее значение длительности парных импульсов и межимпульсного интервала с отображением в графическом интерфейсе, далее пользователь устанавливает последовательность парных световых импульсов длительностью $\tau_{\text{имп}}$, разделенных межимпульсным интервалом $t_{\text{мин}}$, повторяющихся через постоянный временной интервал T [2, 5].

Техника эксперимента. В экспериментальных исследованиях приняли участие 10 испытуемых. Каждый испытуемый при оценке времени зрительного ощущения выполнял серию из 3 измерений.

Оценка выполнялась бинокулярно. Излучателем служил светодиод желтого цвета, спектром излучения 560 нм, диаметром 5 мм и силой света 2 кд. Светодиод с данным спектром излучения и силой света обеспечивает оптимальную световую чувствительность, при которой глаз не испытывает напряжения [6, 7].

Экспериментальные исследования зрительного утомления выполнялись в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.2.542–96. Гигиеническими требованиями к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам ГОСТ Р 50949–2001, ГОСТ Р 50923–96. Общие эргономические требования и требования к производственной среде СНиП 23-05-95, указаний и рекомендаций гигиены труда.

Исследование зрительного утомления выполнялось при 8-часовой рабочей смене, регламентированные перерывы продолжительностью 15 минут предоставлялись через 2 часа после начала рабочей смены и через 2 часа после обеденного перерыва. Обеденный перерыв предоставлялся через 4 часа после начала рабочей смены. Во время работы все операторы вводили один и тот же текст, при максимальной индивидуальной скорости ввода. Оценка динамики времени ощущения проводилась в начале рабочего дня, после перерывов и через каждые 30 минут работы.

Интерпретация результатов. Типичные графики динамики времени ощущения зрительного анализатора для испытуемых из числа обследованных, полученные по результатам тестирования, представлены на рис. 2, где серым цветом отмечено время перерывов.

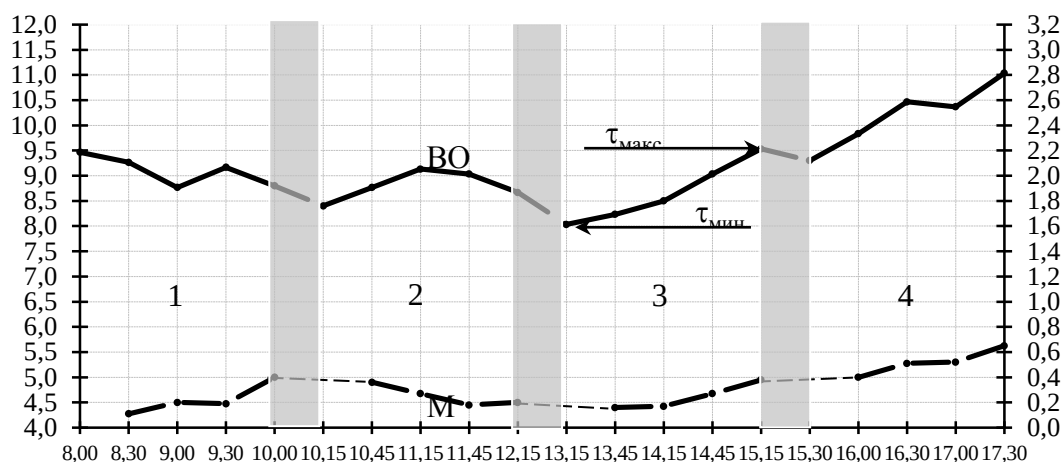


Рис. 2. Графики динамики значения времени ощущения зрительного анализатора и процентного содержания ошибок в набранном тексте испытуемого

По горизонтальной оси – время (час, мин.); по вертикальной оси – измеряемые параметры: слева – время ощущения, мс; справа – процент ошибок, М; цифрами обозначены промежутки времени, равные 2 часам трудовой деятельности, когда оценивалось зрительное утомление; $\tau_{\min}$ – минимальное значение времени ощущения в выборке; $\tau_{\max}$ – максимальное значение времени ощущения в выборке.

В результате анализа выявлено, что процентное содержание ошибок в набранном тексте является недостаточным диагностическим параметром зрительного утомления. Число ошибок, допущенных при вводе текста, определяется в конце рабочего дня и не отображает динамику изменения зрительного утомления операторов.

Коэффициент зрительного утомления ($K_{\text{ут}}$) по динамике времени ощущения вычисляется по формуле

$$K_{\text{ут}} = \frac{\sum_{i=2}^n (\tau_{i-1} - \tau_i)}{(\tau_{\max} - \tau_{\min})},$$

где τ_i – измеренное время ощущения $\tau_{\text{пор}} = \tau_{\text{off}} = \tau_{\text{on}}$; $\tau_{\max}$ – максимальное значение в выборке; $\tau_{\min}$ – минимальное значение в выборке.

На рис. 3 представлены гистограмма и численное значение вычисленного коэффициента зрительного утомления по динамике времени ощущения зрительного анализатора для испытуемых из числа обследованных.

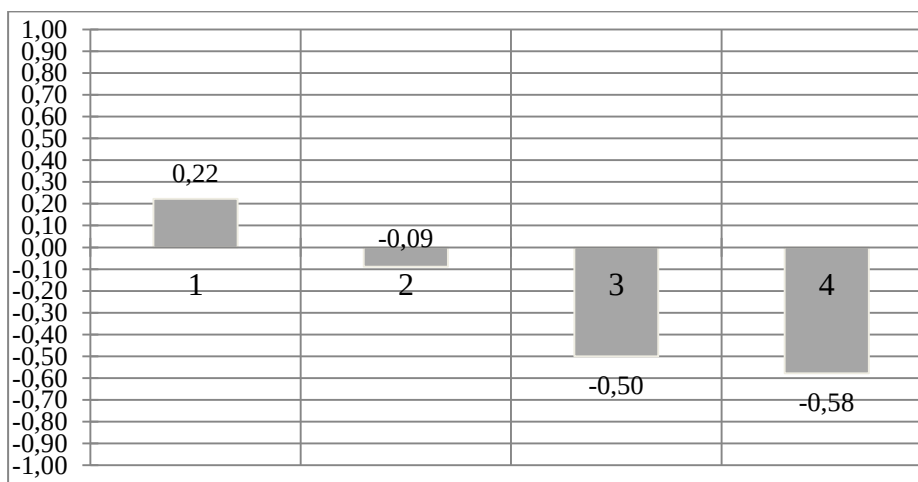


Рис. 3. Гистограмма и численное значение коэффициента зрительного утомления по динамике времени ощущения зрительного анализатора для испытуемых из числа обследованных.

По горизонтальной оси – промежутки времени, равные 2 часам трудовой деятельности в течение 8-часовой рабочей смены, когда оценивалось зрительное утомление; по вертикальной оси – коэффициент зрительного утомления по динамике времени ощущения зрительного анализатора

Положительная область характеризует тренированность или индивидуальный процесс адаптации человека, малое значение в отрицательной или положительной области характеризует оптимальную трудовую деятельность, а значительное значение в отрицательной области характеризует период утомления.

Выводы. В результате анализа выявлено, что процентное содержание ошибок в набранном тексте является слабым показателем зрительного утомления человека и

не является диагностическим параметром, обеспечивающим явную границу его наступления, что особенно важно в момент перехода в состояние зрительного утомления.

Анализ коэффициента зрительного утомления по динамике времени ощущения зрительного анализатора позволяет определить индивидуальный характер адаптации человека при работе с видеодисплейными терминалами и персональными компьютерами и выделить следующие периоды:

- период адаптации и оптимальной нагрузки на зрительный анализатор (области 1 и 2);
- период утомления на физиологическом уровне, когда происходит затруднение выработки временных связей, повышение инертности в динамике нервных процессов и возникает повышенная психоэмоциональная напряженность. Численное значение коэффициента зрительного утомления показывает, когда следует заканчивать нейрофизиологическую нагрузку на зрительный анализатор (области 3 и 4).

Список литературы

1. Психофизиологические основы профилактики перенапряжения / Ю.В. Мойкин [и др.]. М.: Медицина, 1987. 256 с.
2. Роженцов В.В, Алиев М.Т. Время ощущения зрительного анализатора человека // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2005. № 3 (39). С. 20-23.
3. Патент 2231293 РФ, МПК7 А 61 В 5/16. Способ определения времени возбуждения зрительного анализатора человека / В.В. Роженцов, М.Т. Алиев (РФ). Оpubл. 27.06.2004, Бюл. № 18.
4. Алиев М. Т., Тихонов С. Л. Аппаратно-программный комплекс для оценки эффективной деятельности человека // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. № 3. С. 76-85.
5. Алиев М.Т., Роженцов В.В. Психофизиологический метод исследования функционального состояния человека // Здоровье и Образование в XXI веке: материалы VI международной научно-практической конференции. М.: Изд-во РУДН, 2005. С. 43-44.
6. Кравков С.В. Глаз и его работа. М.: Изд-во АН СССР, 1950. 532 с.
7. Эргономика зрительной деятельности человека / В.В. Волков [и др.]. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1980. 112 с.

SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL OF EXHAUSTION OF THE OPERATOR OF THE COMPUTER

Aliyev Marat Tufikovich, Belov Dmitry Aleksandrovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The way and hardware-software complex of research of degree of visual exhaustion on dynamics of value of time of feeling of operators of video display terminals is offered.

Keywords: *feeling time, hardware-software complex, algorithm, visual exhaustion, video display terminal, light impulse*

УДК: 621.391

ФОРМИРОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ КАРТЫ ПОВЕРХНОСТИ ПИЩЕВОДА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

**Батухтин Дмитрий Михайлович¹, Пеганова Евгения Викторовна²,
Шабалина Ирина Геннадьевна¹**

¹ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола

²ГУ РМЭ «Республиканская клиническая больница», Россия, Йошкар-Ола

krtmbs@volgatech.net

Проведен статистический анализ узкоспектральных эндоскопических изображений внутренней поверхности пищевода. Выполнен синтез оптимального по критерию максимального правдоподобия классификатора состояния таких тканей. Обучение классификатора осуществлено по выборкам значений яркости пикселей изображений тканей в диапазоне синего и зеленого цветов. Создана программа классификации и выделения границ тканей пищевода.

Ключевые слова: NBI-технология, эндоскопия, классификация, многомерный статистический анализ, патологии пищевода

Введение. В структуре заболеваний желудочно-кишечного тракта патология пищевода имеет достаточно высокий удельный вес [1, 2]. В силу некоторых причин (отсутствие жалоб, анатомическое строение органа, неисправность эндоскопической аппаратуры и др.) диагностика ранних изменений пищевода остаётся на недостаточно эффективном уровне. Так, согласно данным отечественных авторов, у 75% больных рак пищевода диагностируется только на II-III стадии заболевания и лишь у 5% пациентов – на ранней стадии [1-3], что отрицательно отражается на показателях пятилетней выживаемости в этой группе пациентов [4, 5].

Заболевания пищевода, протекающие с визуальными изменениями слизистой оболочки, требуют детального изучения структуры и сосудистого рисунка поражённого участка. Внедрение в широкую практику видеоэндоскопии с уточняющими методами диагностики создаёт возможность увеличения диапазона получаемой информации о морфологических изменениях слизистой оболочки пищевода. Одним из таких методов является узкоспектральная эндоскопия высокого разрешения, базирующаяся на технологии NBI (narrow band imaging).

NBI-технология основана на выделении из диапазона излучаемого света компонент с длиной волны 415 нм и 540 нм, соответствующих длинам волн синего и зелёного цветов. Глубина проникновения синего света ограничена структурами слизистой оболочки, в то время как зелёный свет проникает до подслизистого слоя. В результате осмотра в узком спектре повышается контрастность изображения, благодаря чему становится возможным оценить структуру эпителия пищевода. Используемые световые волны хорошо поглощаются гемоглобином, вследствие чего отмечается усиление визуализации внутрислизистого сосудистого рисунка в процессе узкоспектральной эндоскопии [6].

Несмотря на многочисленные достоинства, узкоспектральная эндоскопия полностью зависит от индивидуального цветовосприятия исследователя, а величина смещения цвета на изображении определяется врачом на основании собственного опыта.

Кроме того, какие-либо формализованные описания патологических состояний пищевода, выявляемых по изображениям, полученным в узком спектре, в настоящее время отсутствуют, что приводит к субъективизации эндоскопических заключений.

Таким образом, для объективизации метода узкоспектрального исследования пищевода необходима количественная оценка цветовых характеристик получаемых эндоскопических изображений. В нашем исследовании технология NBI явилась предпосылкой для создания автоматизированной системы сегментации эндоскопических изображений. Дальнейшие исследования были направлены на использование математического инструментария для получения объективных оценок состояния слизистой оболочки пищевода. Создание такого рода систем позволит эффективнее проводить эндоскопическое исследование и снизить риск диагностических ошибок.

Цель работы – создать методику автоматизированной обработки узкоспектральных эндоскопических изображений пищевода и на основе методов математической статистики выполнить дифференциальную диагностику нормальной и патологически изменённой слизистой оболочки пищевода.

Решаемые задачи: 1) получить математические модели здоровой ткани и ткани с патологией; 2) построить классификатор тканей на эндоскопических изображениях пищевода; 3) создать программу классификации тканей на эндоскопических изображениях

Математическое моделирование. Проводимые работы базировались на изображениях пищевода у пациентов эндоскопического отделения Республиканской клинической больницы г. Йошкар-Олы с заболеваниями пищевода (рак, дисплазия, пищевод Барретта и т.д.) с разной степенью поражения.

Изображения имели цифровой формат *.jpeg и были представлены в пространстве RGB, т.е. цвет пиксела изображения определялся смешением красного, зеленого и синего цветов, взятых с весовыми коэффициентами, соответствующими их яркости. Яркость отдельных цветовых компонент пиксела находилась в диапазоне от 0 до 255 включительно. Пример подобного изображения представлен на рис. 1.

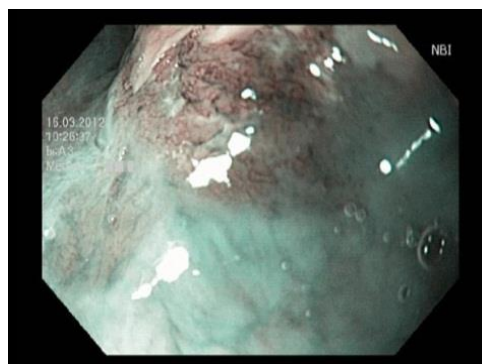


Рис. 1. Пример исходного изображения, получаемого при помощи технологии NBI

Каждый отдельный пиксел можно представить в системе координат RGB в виде точки с координатами, равными значению соответственно красной, зеленой и синей цветовых компонент данного пиксела. Соответственно весь набор пикселей изображения формирует точечное поле конкретного изображения.

На исходном изображении (см. рис. 1) можно выделить области, соответствующие нормальной ткани и ткани с патологией. Данные области показаны на рис. 2 а. На рис. 2 б представлены точки, построенные в трехмерном пространстве RGB, соответ-

ствующие этим областям. Красные точки соответствуют участку нормальной ткани, чёрные – участку ткани с патологией.

Как видно на рис. 2 б, множества данных точек заметно разделены относительно друг от друга, что создаёт предпосылки для автоматической классификации патологии ткани пищевода.

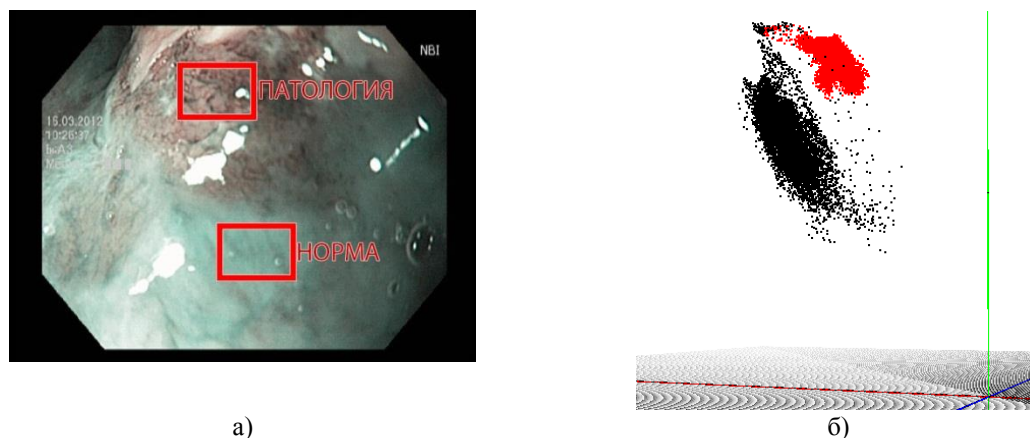


Рис. 2. Области с нормальной тканью и тканью с патологией (а); точечные поля на поверхностях нормальной ткани и ткани с патологией (б)

На этапе обучения классификатора формируется алфавит из двух классов A_1 и A_2 . Класс A_1 соответствует здоровым участкам ткани пищевода пациента, а класс A_2 – тканям с патологией. Априорно принимается закон о нормальности распределения вероятностей светимости точки на поверхности ткани пищевода. Так как цвет точки определяется соотношением трех компонент, то каждый класс задается трехмерным нормальным распределением совместной плотности вероятностей цветовых компонент пикселя. Выражение для трехмерного нормального распределения имеет вид [7]:

$$p(\mathbf{X}) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{3}{2}} |\Sigma|^{\frac{1}{2}}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\mathbf{X} - \mathbf{M})^T \Sigma^{-1} (\mathbf{X} - \mathbf{M}) \right\}, \quad (1)$$

где $\mathbf{X} = \begin{pmatrix} x_r \\ x_g \\ x_b \end{pmatrix}$ – вектор-столбец, представляющий объект (конкретный пиксел на изображении);

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \end{pmatrix} = \begin{cases} E[x_1] \\ E[x_2] \\ E[x_3] \end{cases} \text{ – вектор-столбец, называемый средним вектором. Он задает}$$

центр масс точечного поля; $E[\]$ – обозначение оператора математического ожидания;

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} \text{ – симметрическая положительно определенная матрица, назы-}$$

ваемая ковариантной матрицей. Её элементы определяются выражением

$$\sigma_{ij} = E[(r_i - m_i)(r_j - m_j)], \quad i, j = 1, 2, 3, \quad (2)$$

где r_i, r_j – элементы обучающей выборки для определенного класса.

Оптимальные алгоритмы классификации используют информацию двух видов. Информацией первого вида служит степень соответствия классифицируемого выборочного отсчёта $\mathbf{u}$ математическим моделям каждого из классов. Такую информацию даёт величина отношения правдоподобия [8].

$$\Lambda_i(\mathbf{u}) = \frac{L_Q(\mathbf{u})}{L_{V_i}(\mathbf{u})}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (3)$$

где $L_Q(\mathbf{u})$ – степень соответствия классифицируемого выборочного отсчёта $\mathbf{u}$ математической модели здоровой ткани; $L_{V_i}(\mathbf{u})$ – степень соответствия классифицируемого выборочного отсчёта $\mathbf{u}$ математической модели ткани с патологией.

Вторым видом информации служат доопытные знания, представленные априорными вероятностями принадлежности выборочного отсчёта $\mathbf{u}$ каждому из классов алфавита. Широко используемым алгоритмом для отнесения отсчёта $\mathbf{u}$ к определённому классу алфавита является алгоритм максимального отношения правдоподобия [13]. В соответствии с ним решение для алфавита из двух классов A_1 и A_2 в пользу класса A_1 принимается при условии:

$$\Lambda_i(\mathbf{u}) = \frac{L_Q(\mathbf{u})}{L_{V_i}(\mathbf{u})} \geq \frac{p_1}{p_2} \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (4)$$

где p_1 и p_2 – априорные вероятности принадлежности отсчёта $\mathbf{u}$ к первому или второму классу (рис.4).

Часто значения этих вероятностей неизвестны, и тогда при использовании алгоритма максимального отношения правдоподобия полагают значения априорных вероятностей каждого из классов одинаковыми между собой. В этом случае решающее правило принимает вид:

$$\Lambda_i(\mathbf{u}) \geq 1, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

Таким образом, пиксель на изображении поверхности пищевода соответствует здоровой ткани, если значение его правдоподобия математической модели (6) больше или равно значению правдоподобия математической модели (7).

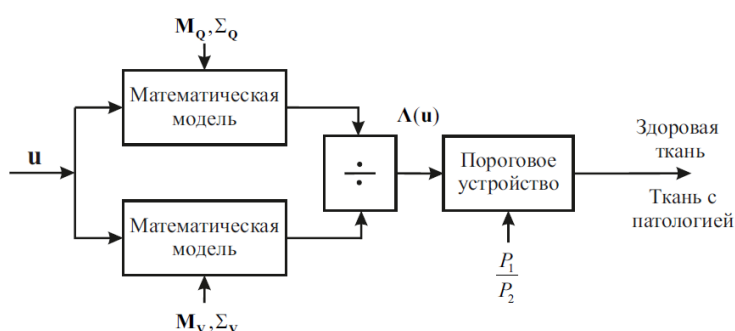


Рис. 3. Структура классификатора тканей пищевода

Структура классификатора (см. рис. 3) содержит два параллельных канала, на входы которых подается классифицируемый отсчёт $\mathbf{u}$. В верхнем канале вычисляется значение $L_Q(\mathbf{u})$ правдоподобия отсчёта $\mathbf{u}$ математической модели класса A_1 , а в ниж-

нем канале – величина $L_v(u)$ правдоподобия этого отсчёта математической модели класса A_2 . Далее формируется отношение правдоподобия $\Lambda_{Q,v}(u)$, которое сравнивается с пороговым уровнем, равным единице. Если этот уровень не превышен, то принимается решение о соответствии отсчёта u точке на больной ткани пищевода. В противном случае ткань в этой точке считается здоровой.

Техника эксперимента. На языке C# была написана программа обработки эндоскопических NBI изображений описанным выше статистическим методом. На исходном изображении оператор выделил области, соответствующие здоровой ткани, и ткани с патологией. Значения яркостных компонент пикселей, входящих в эти области, формируют математические модели тканей. Далее высчитывается значение отношения правдоподобия для каждого пикселя исходного изображения. Значение отношения правдоподобия сравнивается с пороговым значением, и выносится решение об отнесении конкретного пикселя к тому или иному классу.

Пикселям, отнесенным к классу здоровой ткани, присваивается зеленый цвет; пикселям, отнесенным к патологии, – красный. Таким образом, формируется новое изображение, позволяющее оценить область исследования на предмет наличия патологии. Существует также возможность вводить промежуточные пороги отношения правдоподобия для определения переходных процессов в ткани.

Для более наглядной и понятной для врача визуализации при помощи канала прозрачности (альфа-канал) производится наложение исходного и результирующего изображений друг на друга.

На рис. 4 а представлено исходное изображение, которое после обработки описанным выше методом, преобразуется в вид 4 б, и при помощи альфа-канала – в вид 4 в.

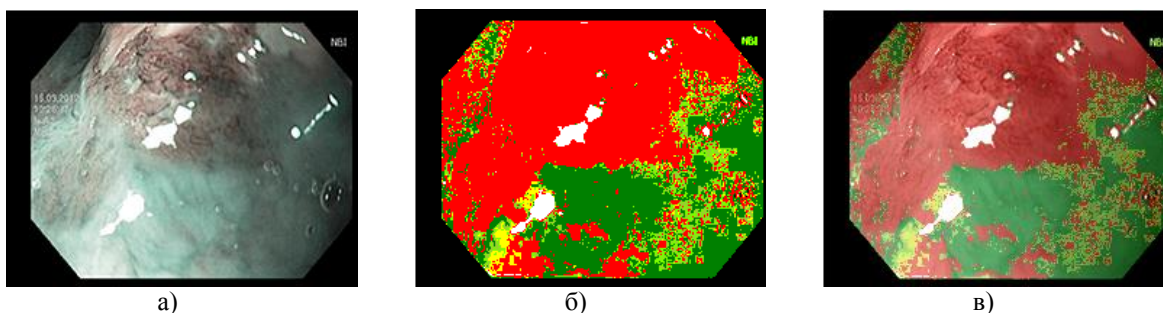


Рис. 4. Исходное изображение (а); изображение, полученное после статистического анализа (б); наложение альфа-канала результирующего изображения на фоновое (в)

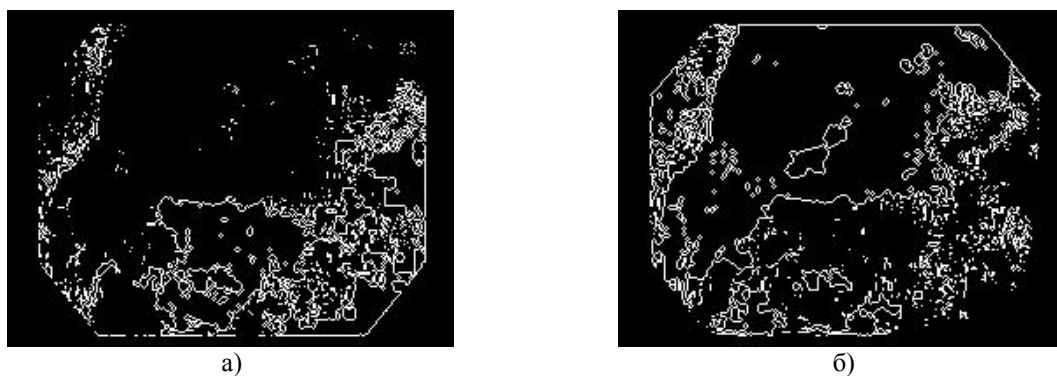


Рис. 5. Контуры здоровой ткани (а); патологии, выделенные на изображении на рис. 1 (б)

Важным моментом настоящей работы является возможность получения контуров на данном изображении. На рис. 5 представлены контуры области здоровой ткани (рис. 5а) и области с патологией (рис. 5б), выделенные на изображении на рис. 1.

Выводы

1. В рамках исследования были получены математические модели здоровой ткани и ткани с патологией.
2. На основании многомерного нормального распределения построен классификатор тканей на эндоскопических изображениях пищевода.
3. Написана программа классификации тканей на эндоскопических изображениях
4. Получены контура тканей на эндоскопических изображениях.

Список литературы

1. Аксель Е.М. Состояние онкологической помощи населению России и стран СНГ в 2004 г. // Вестник РОНЦ им. Блохина. 2006. Т. 17, № 3, прил. 1. С. 11-44.
2. Чиссов В.И., Старинский В.В., Петрова Г.В. Состояние онкологической помощи населению России в 2008 году. М.: МНИОИ им.П.А. Герцена, 2009. 256 с.
3. Coia, LR, Soffen, EM, et al. Swallowing function in patients' with esophageal cancer treated with coucurrent radiation and chemotherapy / LR Coia, EM Soffen, et al // Cancer. 1993. Vol. 71. P. 281-286.
4. Эндоскопическое лечение при раке пищевода / В.В. Соколов [и др.] // Сибирский онкологический журнал. 2003. № 5. С. 15-17.
5. Методика автоматизированного выделения патологии пищевода по узкоспектральным эндоскопическим изображениям / Е.В. Пеганова [и др.] // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2011. № 3. С. 78-84.
6. Современные аспекты эндоскопической семиотики нейроэндокринных опухолей желудка / И.Б. Перфильев [и др.] // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. 2011. Т. 21. № 4. С.27-36.
7. Калинина В.Н., Соловьев В.И. Введение в многополярный статистический анализ: учеб. пособие / ГУУ. М., 2003.
8. Информационные технологии в радиотехнических системах: учеб. пособие. 2-е изд. перераб. и доп. / В.А. Васин [и др.]; под ред. И.Б. Федорова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.

FORMATION OF DIAGNOSTIC MAP OF SURFACE OF THE ESOPHAGUS BY RESULTS OF STATISTICAL ANALYSIS

Batukhtin Dmitry Mikhailivich¹, Peganova Eugenia Viktorovna², Shabalina Irina Gennadjevna¹

¹Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

²Republican Clinical Hospital, Russia, Yoshkar-Ola

The statistical analysis of narrow band endoscopic images of inner surface of esophagus was done. The synthesis of classifier of such tissues status by the criteria of optimal maximum likelihood was done. Classifier training conducted on samples of luminance values of pixels of images of tissues in the range of blue and green colors. The classification and border selection of esophageal webs software was made.

Keywords: NBI, endoscopy, classification, multivariate statistical analysis, esophageal pathology

УДК 621.182.08

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ГРАДИЕНТА ПОТЕНЦИАЛА РЕЗИСТИВНОЙ ПЛЕНКИ

Блинов Илья Давидович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола

Рассматриваются способ и особенности получения наиболее точных данных в процессе измерения. Данная проблема рассматривается относительно разрабатываемой автоматизированной установки для сканирования потенциала с поверхности резистивных пленок.

Ключевые слова: аналогово-цифровой преобразователь, источник опорного напряжения, измерение напряжения, аналоговые шумы, цифровой фильтр, резисторы

Введение. Как известно, каждое измерение аналогового сигнала – это сумма полезного сигнала и некой погрешности (случайной или систематической). Погрешности или шумы могут создавать электронные каскады измерительных цепей, внешние радиопомехи, изменение параметров окружающей среды и т.д. Главная задача, которая стоит перед ученым при обработке аналоговых сигналов, – получить наиболее точный и достоверный сигнал или оценку этого сигнала на основе полученного массива цифровых данных. Существует огромное число различного рода алгоритмов, которые широко используются для фильтрации сигналов [1]. Например, рекурсивный фильтр или фильтр Савицкого-Голея. Но, тем не менее, ошибочно полагать, что любой из этих алгоритмов успешно будет справляться с фильтрацией шумов в конкретной задаче. Некорректный выбор и применение алгоритма может наоборот еще больше исказить полученный сигнал.

Цель работы – разработка схемы измерения для установки измерения градиента потенциала резистивной пленки.

Для оценки воздействия электроискровой подгонки на резистивную пленку резистора проводят измерение распределения электрического потенциала по поверхности пленки или так называемого градиента потенциала, который является скоростью изменения напряжения на единицу расстояния или изменение потенциала вдоль резистора через приложенный потенциал; градиент потенциала удобно рассматривать как эквипотенциальные линии, идущие продольно длине резистора. Эквипотенциальные линии – это воображаемые линии равного потенциала, расположенные под прямым углом к градиенту потенциала.

Решаемая задача: обеспечение максимальной точности измерения потенциала, на основе имеющейся технической базы.

Техника эксперимента. Для измерения градиента потенциала к контактным площадкам исследуемого резистора прикладывалось опорное стабилизированное напряжение, а затем при помощи вольтметра измерялось напряжение в точках на поверхности резистора. Для решения этой задачи использовалась схема, представленная на рис. 1.

Задача обработки, хранения и передачи информации решена при помощи микроконтроллера (МК) xmega32A4. К исследуемому резистору (R) подключается источник опорного напряжения (ИОН). При подобных исследованиях (и в большинстве процессов измерения) ИОН играет основополагающую роль. Чтобы определить необходи-

мые требования к ИОН, рассмотрим процесс сканирования идеального резистора длиной 4 мм, подключённого к ИОН 1 вольт.

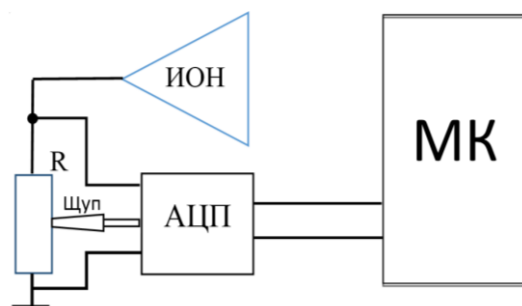


Рис. 1. Измерительная схема

Для идеального резистора характеристика распределения потенциала по поверхности резистора должна описываться некой линейной функцией, представленной на рис 2.

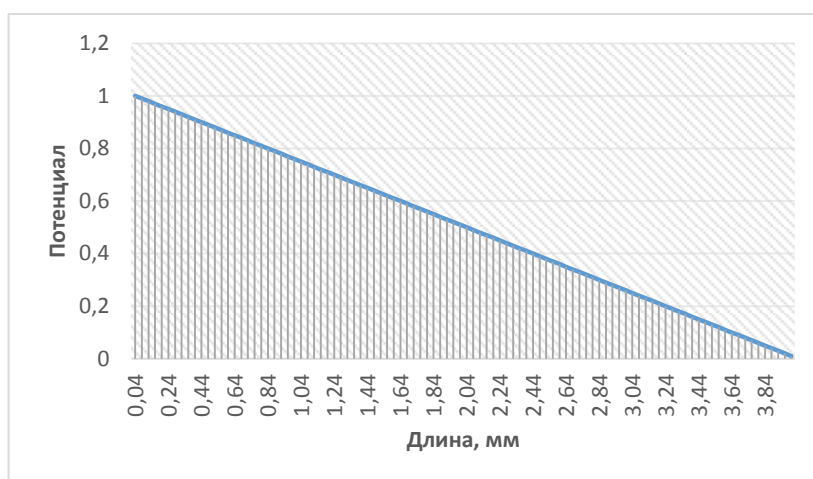


Рис. 2. Распределение по поверхности идеального резистора

В установке применяются шаговые двигатели, их преимущество – высокая точность обработки шага, а также возможность управления цифровым сигналом, что тоже увеличивает точность [2]. Минимальная разрешающая способность установки, которая равна минимальному смещению щупа по поверхности резистора, составляет 0,04 мм, то есть, как видно на рисунке, градиент потенциала на каждое смещение щупа равен 10 мВ. В схеме измерения используется 12-разрядный АЦП, который имеет разрешающую способность $1/4096$, или 0,0245% от полной шкалы, или менее 1 мВ градиента потенциала. Следовательно, погрешность измерений в целом будет зависеть в основном от точности и стабильности ИОН. Значит, точность ИОН должна быть не менее 0,1%.

Сканирующий щуп, подключенный к аналого-цифровому преобразователю (АЦП), устанавливается на поверхности резистивной пленки. АЦП обладает 12-битной разрешающей способностью и может выполнять преобразования на частоте до 2 МГц. АЦП выполнен по конвейерной архитектуре. Конвейерный АЦП состоит из

нескольких следующих друг за другом ступеней. Каждая из ступеней отвечает за преобразование определенной части результата. Конвейерная архитектура позволяет добиться высокой частоты преобразования при относительно низкой частоте синхронизации и снимает ограничения на частоту преобразования, вызванные влиянием задержки распространения. Это также означает, что выборка нового аналогового напряжения и запуск нового преобразования АЦП могут быть выполнены еще во время выполнения текущих преобразований. Затем АЦП преобразовывает напряжение с поверхности резистивной пленки в цифровое значение и передает на микроконтроллер (МК). Поскольку АЦП получает опорное напряжение из того же источника, что и подключенный к исследуемому резистору, и линии подключения расположены близко друг от друга, любой сигнал помехи на одной линии будет наводиться на другую. При дифференциальных измерениях этот сигнал гасится, так как является синфазным. Следует также отметить, что при измерении напряжения на поверхности резистора щуп и положительный вход ИОН расположены в непосредственной близости. Это гарантирует отсутствие погрешности измерений из-за влияния сопротивления проводов. Это видно на рис. 3, где изображены две осциллограммы, показывающие шумы со входа ИОН и напряжение, поступающее на АЦП в качестве опорного напряжения. Максимальное значение напряжения на обеих осциллограммах $V_{\max}=1,004$ В, минимальное $V_{\min}=0,996$ В, время/деление 50 мс.

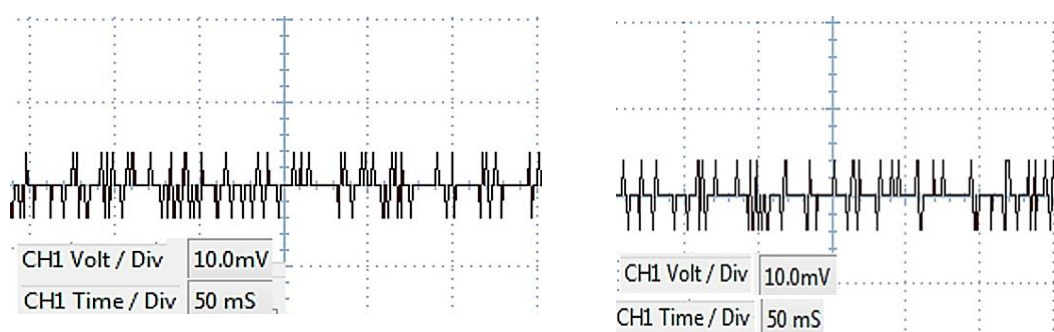


Рис. 3. Осциллограммы ИОН (слева – выход ИОН, справа – вход опорного напряжения АЦП, цена деления 10 мВ, сигнал смещен относительно нуля)

Как видно, пределы отклонения напряжения порядка ± 4 мВ, поэтому проще всего было бы использовать цифровой фильтр, поскольку аппаратные способы имеют ограничения, в том числе по экономическим соображениям.

Самым простым способом цифрового уменьшения помех является микропрограммный математический фильтр для усреднения шума. Простой в реализации тип фильтра – фильтр скользящего среднего (moving average filter), где используется массив данных, в котором новые входные значения последовательно поступают на вход, а наиболее старые значения последовательно появляются на выходе, схема изображена на рис. 4. В любой момент времени выход фильтра является средней величиной всех элементов массива [3]. Существенным недостатком такого фильтра является то, что происходит двойная реакция на каждое поступающее значение, но поскольку сканирующий щуп постоянно меняет свое положение, можно использовать конечное количество измерений на каждом исследуемом участке.

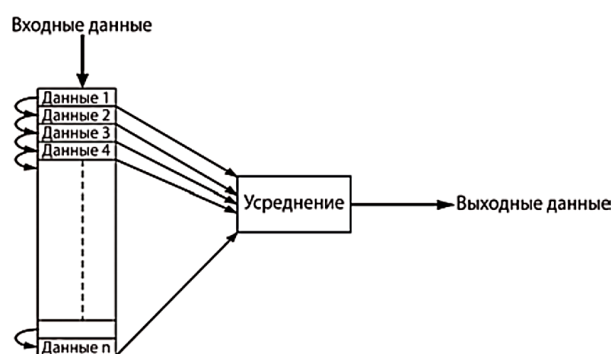


Рис. 4. Фильтр скользящего среднего

Помимо прочего, этот фильтр становится малоэффективным, если номинальный квант дискретизации АЦП будет больше, чем длительность помехи. Тактовая частота модуля АЦП в микроконтроллерах AVR зависит от его тактовой частоты и внутреннего предделителя. Допустим, наш микроконтроллер тактируется от внутреннего генератора с частотой 32 МГц, а предделитель в модуле АЦП установлен равным 256. Тогда тактовая частота модуля АЦП будет равна:

$$F_{ADC} = \frac{F_{CPU}}{PRE} = \frac{32000000}{64} = 500000 \text{ Гц}, \quad (1)$$

где F_{CPU} – тактовая частота микроконтроллера; PRE – предделитель.

Из этой частоты можно рассчитать частоту дискретизации АЦП при работе в режиме непрерывного преобразования. Она равна отношению тактовой частоты АЦП к количеству тактов, которые требуются для выполнения одного преобразования. Согласно технической документации на АЦП, одно преобразование выполняется за 13 тактов (если это не первое преобразование), тогда

$$F_d = \frac{F_{ADC}}{n} = \frac{500000}{13} \approx 38461 \text{ Гц}, \quad (2)$$

где F_d – частота дискретизации; n – число тактов.

При частоте дискретизации 38461 Гц, минимальный временной промежуток, который способен обработать АЦП, составляет около 26 мкс, что судя по осциллограммам гораздо меньше средней длительности шума.

Данный фильтр оправдывает себя при работе с сигналами достаточно высокого уровня, но что делать, когда сигнал имеет очень малый уровень, а применение усилителей вносит дополнительные шумы?

На рис. 5 изображен сигнал, поступающий от щупа, который установлен в крайней области исследуемого высокоомного резистора. Напряжение составляет около 8 мВ, максимальное значение на участке 9 мВ, минимальное – 7 мВ.

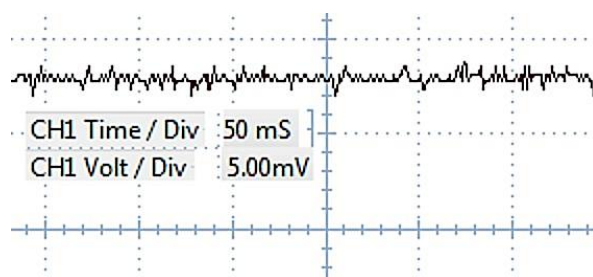


Рис. 5. Сигнал с щупа, установленного в крайнем положении (цена деления 10мВ)

После применения усилителя с коэффициентом 10, АЦП обработал следующий сигнал, изображённый на рис. 6.

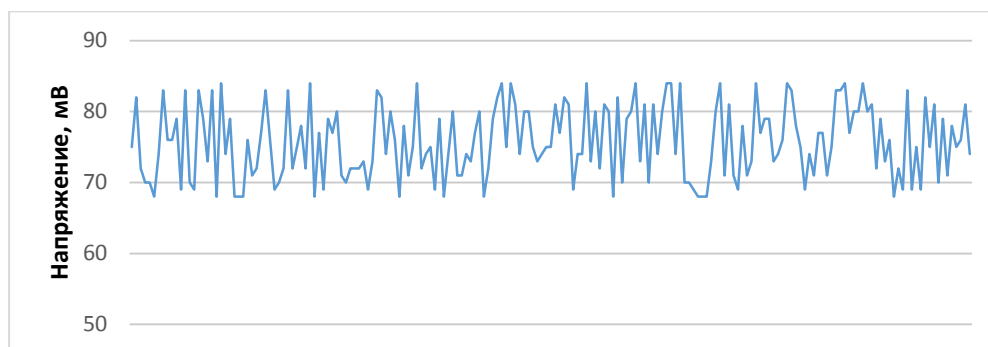


Рис. 6. Сигнал после усиления в 10 раз, обработанный АЦП

После усиления в 10 раз, как видно из рисунка, вместо положенных 80 мВ, АЦП определил в среднем 76 мВ. С чем это связано? Это вызвано, в первую очередь, отклонением коэффициента усиления от идеального значения, что неприемлемо для большинства систем. Имеются также и другие факторы, влияющие на ошибку коэффициента усиления, например, точность опорного напряжения АЦП. Эта проблема может быть решена встроенным в АЦП аналоговым мультиплексором.

При использовании усилителя производится замер сигнала без усиления и с усилением, затем замеряется их соотношение и тем самым компенсируется погрешность усиления.

Интерпретация результатов. В конечном итоге удалось получить удовлетворительный сигнал для измерения градиента потенциала. На рис. 7 показаны две осциллограммы до и после применения схемы компенсации.

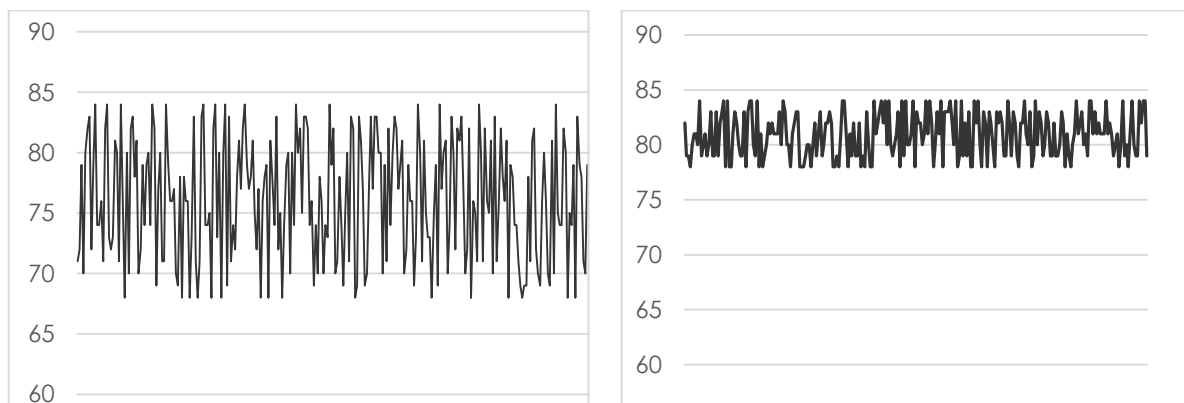


Рис. 7. Данные с АЦП до применения схемы компенсации усиления (слева) и после ее применения (справа)

Таким образом, используя цифровую фильтрацию и цифровую компенсацию погрешности усилителя, можно добиться значительного улучшения в измерении градиента потенциала резистивной пленки.

Выводы

1. В измерительных трактах с использованием АЦП значительную роль играет выбор ИОН.

2. Частота работы АЦП должна быть как минимум на порядок выше длительно-сти шумов на линии.

3. Всегда необходимо учитывать погрешность, вносимую усилителем.

4. Применение цифровых фильтров в значительной степени позволяет улучшить качество измерений с использованием АЦП

Полученная схема успешно применяется в установке автоматизированного сканирования градиента потенциала резистивной пленки.

Список литературы

1. Стивен Смит. Научно-техническое руководство по Цифровой Обработке Сигналов / пер. с англ. М.Ф. Козлова. М.: МНИИРЭ Альтаир, 2004. 400 с.

2. Леухин В.Н., Нагаев А.А., Андрейкин А.В. Разработка модели комплекса позиционирования для электроискровой подгонки групп резисторов // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Радиотехнические и информационные системы. 2008. № 3. С. 69-75.

3. Щеглов А.А. Точные измерения аналоговых сигналов в системах сбора данных // Электронные компоненты. 2011. № 3. С. 40-42.

FEATURES OF MEASUREMENTS OF POTENTIAL GRADIENT RESISTIVE FILM

Blinov Ilya Davidovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Discloses a method and features the most accurate data in the measurement process. This problem is considered with respect to develop automated systems for scanning the surface potential with resistive films.

Keywords: *analog-to-digital converter, voltage references, voltage measurement, analog noise, digital filter, resistors*

УДК 681.532.55

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ НА ОСНОВЕ ДВУХРОТОРНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Буканова Татьяна Сергеевна

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
BukanovaTS@volgatech.net

Представлена структура управляемого электропривода на основе двухроторной электрической машины с дифференциальным управлением, приведены характеристики блока управления нагрузкой для регулирования частоты вращения двухроторной электрической машины с двумя дифференциально взаимосвязанными роторами.

Ключевые слова: *электропривод, двухроторная электрическая машина, дифференциально взаимосвязанные роторы*

Введение. Реализация технологических процессов в промышленности в подавляющем большинстве предполагает использование электропривода для приведения в действие рабочих органов технологических машин. С развитием вычислительной тех-

ники для решения задач регулирования параметров движения рабочего органа технологического аппарата средствами электропривода применяют два основных метода частотного управления: скалярное и векторное управление.

Метод скалярного управления [1-3] достаточно прост в реализации, но обладает существенными функциональными недостатками. Для обеспечения качественного управления характеристиками необходима установка датчиков скорости и момента на валу двигателя, однако при этом управление становится инерционным, а сам электропривод увеличивается как по массогабаритным размерам, так и по стоимости.

Метод векторного управления [4-7] использует переменные электрического двигателя (тока статора, потокосцепления) в виде векторных физических величин – направленного вектора, который обладает амплитудой и фазой. Управление именно совокупностью этих параметров во времени лежит в основе векторного принципа. Аппаратная реализация векторных систем управления характеризуется высокой стоимостью компонентов, большой вычислительной сложностью и необходимостью знать параметры двигателя для расчета оптимальных параметров.

Основным направлением технического переоснащения промышленности является внедрение современных систем автоматического управления на базе единых модулей, объединяющих собственно электромеханические компоненты с силовой электроникой, которые управляются микроконтроллерами, персональными компьютерами или другими вычислительными устройствами.

Целью работы является разработка системы управления частотой вращения электропривода на основе двухроторной электрической машины с дифференциальным управлением.

Решаемые задачи: 1) рассмотреть двухроторную электрическую машину с дифференциальным управлением в составе управляемого электропривода; 2) разработать систему управления двухроторной электрической машиной с дифференциальным управлением; 3) исследовать характеристики электропривода.

Техническое моделирование. Для управления рабочим органом технологического аппарата предложено использовать двухроторную электрическую машину (ДЭМ) с дифференциальным управлением с (ДУ) [8]. ДЭМ с ДУ состоит из двух взаимосвязанных подсистем: двигательной и генераторной. В отличие от обычных двигателей в предложенной электрической машине управление происходит путем изменения величины тормозного момента, действующего со стороны генераторной обмотки на промежуточный ротор электрической машины, который дифференциально взаимосвязан с внутренним ротором [9]. Дифференциальное управление частотой вращения ДЭМ заключается в целенаправленном воздействии на дополнительно введенный для управления промежуточный ротор системы двух дифференциально взаимосвязанных роторов (в виде разгона или торможения ротора) с целью достижения заданного состояния, например стабилизации частоты вращения основного ротора.

Одним из вариантов реализации указанного воздействия для дифференциального управления является изменение сопротивления нагрузки в цепи обмотки генераторной части ДЭМ с ДУ с целью управления частотой вращения внутреннего ротора [10].

Управляемый электропривод, в качестве электромеханического устройства применена ДЭМ с ДУ, можно разделить на следующие части: механическая часть, включающая в себя непосредственно электромеханическое устройство – ДЭМ с ДУ, со-

пряженную с механической нагрузкой; силовую часть, представляющую собой управляемый выпрямитель напряжения для преобразования переменного тока в постоянный и управляемую нагрузку обмотки дополнительной части ДЭМ с ДУ – блок управления нагрузкой (БУН); управляющую часть, представляющую собой терминальную систему управления (ТСУ) электроприводом, основное назначение которой – формирование сигналов управления для изменения нагрузки по результатам анализа процессов на основании предложенной математической модели ДЭМ с ДУ.

Структурная схема электропривода на основе ДЭМ с ДУ представлена на рис. 1.

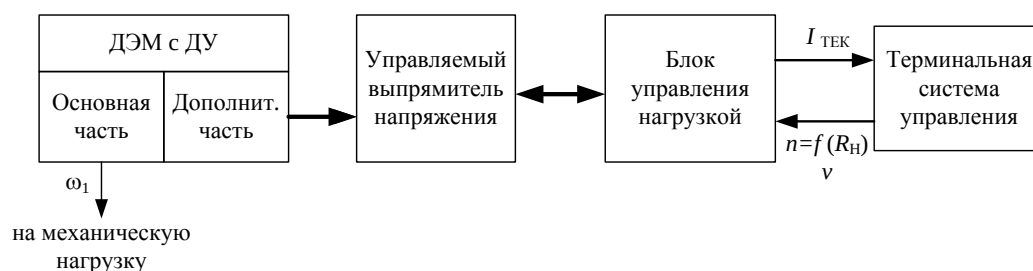


Рис. 1. Структурная схема управляемого электропривода на основе двухроторной электрической машины с дифференциальным управлением

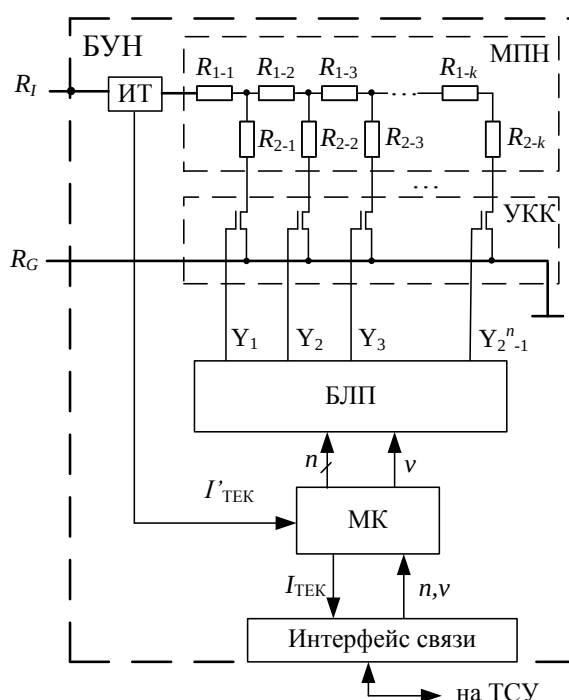


Рис. 2. Функциональная схема микропроцессорной системы блока управления нагрузкой:
ИТ – измеритель тока; МПН – матрица полезной нагрузки; УКК – управляемые коммутлируемые ключи; БЛП – блок логического преобразования; БУН – блок управления нагрузкой;
МК – микроконтроллер; ТСУ – терминальная система управления

ДЭМ с ДУ соединена с сетью переменного напряжения общепромышленного назначения. В результате роторы ДЭМ начинают вращаться. Внутренний ротор ДЭМ с ДУ соединен с механической нагрузкой электропривода и предназначен для приведения в действие рабочего органа технологической машины с частотой вращения ω_1 .

При функционировании ДЭМ с ДУ происходит вращение промежуточного ротора с частотой ω_2 . Дополнительная часть ДЭМ с ДУ соединена с БУН через управляемый выпрямитель напряжения, формирующий шину постоянного тока. БУН содержит управляемую коммутируемую матрицу полезной нагрузки (МПН), которая включена в цепь обмотки дополнительной части. Управление величиной нагрузки происходит по сигналам n и v , определяющим количество и вид подключаемых в качестве нагрузки дополнительной части элементов МПН – величину сопротивления R_H .

БУН состоит из МПН, управляемых коммутируемых ключей (УКК), блока логического преобразования (БЛП), микроконтроллера (МК) и измерителя тока (ИТ) (рис. 2).

Аналитическое моделирование. МПН представляет собой электрическую цепь из повторяющихся элементарных нагрузок с двумя номиналами R_{1-k} и R_{2-k} . Каждый отвод нагрузки R_{2-k} МПН соединен с общей шиной через УКК. Ключ замкнут, когда соответствующий ему выходной сигнал БЛП равен единице и наоборот. Исходя из структуры МПН, БУН реализует дискретное изменение сопротивления R_H , включаемого в цепь дополнительной части ДЭМ с ДУ в зависимости от управляющего сигнала с БЛП.

БУН функционирует следующим образом. Сигналом управления v с ТСУ определяется вариант функционирования БЛП, который по цифровому n -разрядному сигналу управления формирует исполнительные дискретные воздействия. Первый вариант принципа функционирования БЛП представлен в таблице.

Таблица истинности блока логического преобразования (вариант 1)

№	Входы				Выходы											
					вариант 1 ($v = 1$)						вариант 2 ($v = 2$)					
	X_n	...	X_2	X_1	Y_1	Y_2	Y_3	...	$Y_{(2^{n-2})}$	$Y_{(2^{n-1})}$	Y_1	Y_2	Y_3	...	$Y_{(2^{n-2})}$	$Y_{(2^{n-1})}$
1	0	...	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	...	0	0
2	0	...	0	1	1	0	0	...	0	0	1	0	0	...	0	0
3	0	...	1	0	1	1	0	...	0	0	0	1	0	...	0	0
4	0	...	1	1	1	1	1	...	0	0	0	0	1	...	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2^n-1	1	...	1	0	1	1	1	...	1	0	0	0	0	...	1	0
2^n	1	...	1	1	1	1	1	...	1	1	0	0	0	...	0	1

В данном случае двоичный код на выходе ТСУ преобразуется в количественное значение. Каждый выход Y_k БЛП управляет соответствующим ключом отвода ячейки МПН, причем согласно данным таблицы значению «0» соответствует неподключенная ячейка, а значению «1» – подключенная ячейка МПН БУН. Таким образом, сигналы с БЛП определяют количество подключенных ячеек матрицы БУН. При n -разрядном сигнале управления ТСУ возможно 2^n вариантов управляющих сигналов, обеспечивающих подключение $k = (2^n-1)$ ячеек МПН БУН. Диапазон изменения характеристик определяется величиной k и величиной нагрузок R_{1-k} и R_{2-k} МПН БУН. Сопротивление МПН $R_{k(1)}$ при подключении k ячеек (см. таблицу) соответствует электрической нагрузке R_H дополнительной части и определяется согласно формуле (1):

$$R_{k(1)} = R_{1-1} + R'_i, \quad R'_i = \begin{cases} R_{1-1}, & \text{если } i = 1 \\ \left(\frac{R_{1-i} + R'_{i+1}}{R_{1-i} + R'_{i+1} + R_{2-(i-1)}} \right) \cdot R_{2-(i-1)} \Big|_{i=2,k}, & \text{если } i \geq 2, \end{cases} \quad (1)$$

где при $i = k$ значение $R'_{(i+1)} = R_{2-i}$.

Согласно данным таблицы, в случае второго варианта функционирования БЛП при n -разрядном двоичном коде управления с ТСУ определяется замыкание только одного ключа, реализуя преобразование из двоичного кода в позиционный. Таким образом, позиция коммутируемого ключевого элемента определяет величину сопротивления R_H МПН в цепи обмотки дополнительной части ДЭМ с ДУ. Сопротивление МПН $R_{k(2)}$ при подключении k -ого отвода соответствует нагрузке R_H дополнительной части ДЭМ с ДУ и определяется согласно формуле (2)

$$R_{k(2)} = R_{2-k} + \sum_{i=1}^k R_{1-i}. \quad (2)$$

Интерпретация результатов. Характеристика изменения сопротивления МПН R_k при различных вариантах коммутации отводов представлена на рисунке 3.

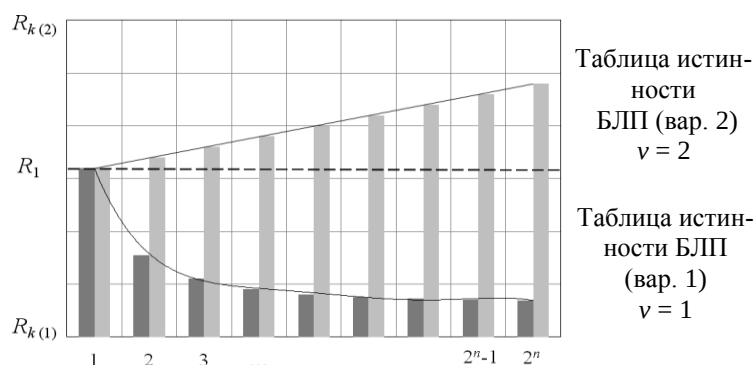


Рис. 3. Изменение сопротивления матрицы полезной нагрузки

В результате изменения сопротивления МПН при последовательном подключении $v = 1$ отводов от $0 \dots k$ происходит ступенчатое уменьшение его величины с экспоненциальным характером. Во втором случае коммутации при $v = 2$ обеспечивается равномерное ступенчатое линейное увеличение сопротивления МПН в зависимости от номера подключаемого отвода ключевого элемента. В общем случае при произвольном количестве позиций из k отводов и последовательности замыкания УКК $\{\bar{s}_k\}$ выполняется преобразование к МПН с s -группами с последовательно-параллельным подключением элементов $\bar{R}_{1-s}$ и $\bar{R}_{2-s}$, сопротивления которых находят по формулам (1) и (2). БЛП целесообразно реализовать на основе программируемых логических интегральных схем, работа которой характеризуется таблицами 1 и 2 функционирования БЛП. Управление выбором активируемой таблицы функционирования БЛП происходит по значению сигнала v . Замыкание соответствующих ключей МПН определяется значением n .

Выводы. Микропроцессорная система БУН обеспечивает изменение величины нагрузки R_H МПН дополнительной части ДЭМ с ДУ для устранения рассогласова-

ния текущей и заданной частот вращения электропривода. Особенностью предлагаемой системы является отсутствие датчиков, отслеживающих механические параметры движения рабочего органа технологической машины. Таким образом, осуществляется регулирование частоты вращения выходного вала в широком диапазоне с обеспечением номинальных энергетических характеристик работы основной части во всем диапазоне регулирования, осуществляя при этом распределение мощности, потребленной ДЭМ с ДУ, на две составляющие: механическую, передаваемую на нагрузку, и электрическую, потребляемую электрической нагрузкой МПН.

Список литературы

1. Карлов Б. Н., Есин Е. В. Современные преобразователи частоты: методы управления и аппаратная реализация // Силовая электроника. 2004. № 1. С. 50–54.
2. Степанов В., Матисон В., Виноградов А. Новые средства энергосбережения и оптимизации энергопотребления // Силовая электроника. 2005. № 3. С. 30–33.
3. Barnes M. Practical Variable Speed Drives and Power Electronics: Practical Professional Books. Newnes; 2003. 304 p.
4. Trzynadlowski A. M. Control of induction motors. Academic Press, 2000. 228 p.
5. Народицкий А. Г. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов. СПб.: Санкт-Петербургская Электротехническая Компания, 2004. 127 с.
6. Chang J. H., Kim B. K. Minimum-time minimum-loss speed control of induction motors under field-oriented control // IEEE transactions on industrial electronics. 1997. № 6. Vol. 44. P. 809-815.
7. Quang N. Ph., Dittrich J.-A. Vector Control of Three-Phase AC Machines: System Development in the Practice (Power Systems). Springer, 2010. 340 p.
8. Патент 2400006 Российская Федерация, МПК7 Н 02К 16/02 Электрическая машина / Савиных А. Б., Буканова Т. С.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Марийский государственный технический университет. № 2009104680/28; заявл. 11.02.2009; опубл. 20.09.2010, Бюл. № 26. 8 с.
9. Буканова Т. С. Способ управления и модель электрической машины с дифференциальным торможением // Мехатроника, автоматизация и управление. 2011. № 12. С. 21–27.
10. Буканова Т. С., Савиных А. Б. Устройство и характеристики электропривода с дифференциальным торможением // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. Йошкар-Ола, Марийский государственный технический университет. 2011. № 2(12). С. 74-81.

CONTROL OF THE ELECTRIC DRIVE ON THE BASIS OF THE TWO-ROTOR ELECTRIC MACHINE WITH DIFFERENTIAL MANAGEMENT

Bukanova Tatiana Sergeevna

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The structure of the operated electric drive on the basis of the two-rotor electric machine with differential management is presented, characteristics of the control unit by loading for regulation of frequency of rotation of the two-rotor electric machine with two differential interconnected rotors are provided.

Keywords: *the electric drive, the two-rotor electric machine, differential the interconnected rotors*

УДК 535.2

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ФОТОННОГО ЭХА ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРУКТУР НАНОМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА В ТОНКИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНКАХ

**Вашурин Никита Сергеевич, Попов Иван Иванович, Сушенцов Николай Иванович,
Степанов Сергей Александрович**

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
PopovII@volgatech.net

Описываются результаты исследования методом фемтосекундного фотонного эха тонких полупроводниковых пленок, изготовленных методом магнетронного распыления.

Ключевые слова: фемтосекундное фотонное эхо; полупроводниковые тонкие пленки; дефекты кристаллической структуры; экситоны

Введение. В работе рассматриваются особенности возбуждения и регистрации фемтосекундного фотонного эха в тонких полупроводниковых пленках наноразмерной толщины (пленки ZnO, SiB, SiP), содержащихся при комнатной температуре, и некоторые свойства фотонного эха в наноразмерных средах. Выбранный в наших исследованиях оксид цинка ZnO является популярной средой для различных оптических исследований в силу наличия у него ряда преимуществ, таких как широкая запрещенная зона 3,37 эВ, относительно большая энергия связи экситона при комнатной температуре (около 60 мэВ) и возможность реализации ряда наноструктур при невысоких затратах [1].

Фотонное эхо представляет собой отклик резонансной среды на воздействие двух или более разнесенных во времени ультракоротких (много меньших времен релаксации) лазерных импульсов. Это явление было предсказано в 1962-63 гг. советскими учеными У. Х. Копвиллемом и В. Р. Нагибаровым как световое эхо [2]. Позднее, в 1964 году, оно было экспериментально обнаружено в рубине американскими исследователями Н. Кенитом, И. Абелла и С. Хартманом [3], назвавшими его «фотонное эхо». Физика формирования фотонного эха связана с последовательно происходящими процессами: созданием под воздействием мощного лазерного импульса совпадающих по фазе поляризации псевдоэлектрических диполей на резонансных частицах среды; последующей расфазировкой диполей после воздействия первого лазерного импульса в силу неоднородности уширения резонансной спектральной линии; дальнейшим совпадением их по фазе после воздействия второго лазерного импульса через временной интервал, равный интервалу между возбуждающими импульсами; излучением оптического эхо-отклика в момент восстановления совпадающих фаз поляризации диполей.

Изучаемая физика фотонного эха наноразмерных сред и его свойства значительно отличается от ранее известных свойств фотонного эха в газовых и твердотельных средах, в полупроводниковых кристаллах микронной толщины. Многие методические наработки более ранних экспериментов по фотонному эхо, включая оптическую спектроскопию сверхвысокого разрешения и оптическую обработку информации могут иметь место при наблюдении эхо-сигналов в наноразмерных средах. Вместе с тем при наблюдении фотонного эха в тонких пленках ожидается обнаружение новых оптических свойств, характерных для наноразмерных структур.

В настоящее время существует множество работ по применению явления фотонного эха в газовых средах. С его помощью была получена разнообразная спектроскопическая информация о резонансных уровнях и резонансных переходах атомов (молекул) исследуемых газов. Во-первых, высокая разрешающая способность метода непосредственно во временной области при использовании ультракоротких нано- и пикосекундных возбуждающих импульсов дает возможность проводить исследования быстропротекающих релаксационных процессов. Во-вторых, свободный от влияния доплеровского уширения характер метода фотонного эха позволяет выполнять прецизионные измерения внутри неоднородно-уширенного контура резонансной спектральной линии. В-третьих, в методе фотонного эха, в отличие от других методов нелинейной лазерной спектроскопии, исследуемые релаксационные процессы не подвержены возмущающему действию интенсивного лазерного излучения [4]. Фотонное эхо позволяет не только измерять интегральные релаксационные характеристики уровней и переходов, но и определять вклады в эти характеристики различных механизмов релаксации. В работе [5] проведены эксперименты по двухфотонному возбуждению фотонного эха на экситонном переходе в полупроводниковом кристалле CdS микрометровой толщины, содержащемся при комнатной температуре. Данная работа является продолжением ранее выполненных экспериментов по исследованию свойств фотонного эха, возбуждаемого в тонких полупроводниковых пленках [6].

Цель работы – исследовать структуру тонких полупроводниковых пленок с позиции наличия в ней структурный и примесных дефектов методом фемтосекундного фотонного эха.

Решаемые задачи: 1) изготовление тонких полупроводниковых пленок с заданными структурными и примесными дефектами; 2) разработка методики исследования тонких полупроводниковых пленок методом фемтосекундного фотонного эха; 3) обнаружение сигналов фемтосекундного фотонного эха; 4) исследование спада фемтосекундного фотонного эха на наличие свойств, обусловленных дефектами полупроводниковых тонких пленок.

Структурное моделирование. Изучаемая нами полупроводниковая структура тонкой пленки оксида цинка представляет интерес с позиции возможности достижения, при определенных методах его роста, высоких концентраций собственных дефектов: кислородных вакансий и междоузельных атомов цинка, сверхстехиометрического кислорода (вакансий цинка, VZn), обеспечивающих возможность изменения оптических свойств и проводимости среды.

Пленки были получены одним из методов ионно-плазменного нанесения пленок – методом магнетронного распыления [7]. Как показано в работе [8], при подобном получении пленок образуются как рентгеноаморфные, так и поликристаллические (поликластерные) системы (с различной степенью текстурированности) из-за формирования их в условиях потери морфологической устойчивости плоских поверхностей (гранных форм роста).

ZnO имеет уровни донора и акцептора, энергии которых ниже и выше зоны проводимости соответственно. ZnO имеет также глубокие энергетические уровни в запрещенной зоне с различными энергиями и эти глубокие уровни ответственны за излучение в видимой области от 400 до 750 нм. Глубокий уровень излучения в ZnO был ранее отнесен к различным собственным дефектам в кристаллической структуре ZnO, таких как вакансии кислорода и вакансии цинка (VZn). Внешние дефекты, в виде атомов меди и лития, также предположительно вовлечены в глубоком уровне излучения.

Примесные дефекты также играют важную роль в люминесценции ZnO. Ультрафиолетовое излучение в ZnO на 3,35 эВ, как правило, связано с экситонами, связанными на внешних дефектах, такие как Li, Na.

В работах [9] выявлено, что широкий пик свечения люминесценции пленок ZnO, сформированных методом магнетронного распыления, обязан наличию экситонов локализованных на дефектах. А отсутствие пика излучения в области свободных экситонов связано с быстрой их релаксацией с отбором энергии и связывании на дефектах. О наличии существенного структурного беспорядка в слоях ZnO свидетельствует также значительная интенсивность в спектрах полос, связанных с глубокими примесными центрами. Это подтверждается также резонансными спектрами комбинационного рассеяния, где наблюдаются LO-фонон и особенности, связанные с многофононными процессами рассеяния на LO фононах вплоть до 7 порядка, что обусловлено значительным количеством примесей и собственных дефектов. Многофононное рассеяние указывает на то, что основным механизмом релаксации горячих экситонов, возбуждаемых в резонансном рассеянии, является фрелиховское взаимодействие с LO фононами. Наличие полуширин фононных линий также подтверждает высокий уровень структурных дефектов в слоях ZnO, а выраженная асимметричность проявляется благодаря размерным эффектам. В свою очередь, высокая концентрация собственных дефектов и примесных центров является звеном для образования на них поверхностных экситонов. Таким образом, сильнодефектная структура на границе кристаллической и аморфной фазы должна содержать локализованные на этих дефектах экситоны. Именно локализация экситонов на размерных дефектах может приводить к оптическим свойствам, обусловленным возникновением квантовых экситонных линий, изучаемых нами методом фемтосекундного фотонного эха.

Техника эксперимента. Оптическая схема экспериментальной установки для регистрации фемтосекундного фотонного эха приведена на рис. 1.

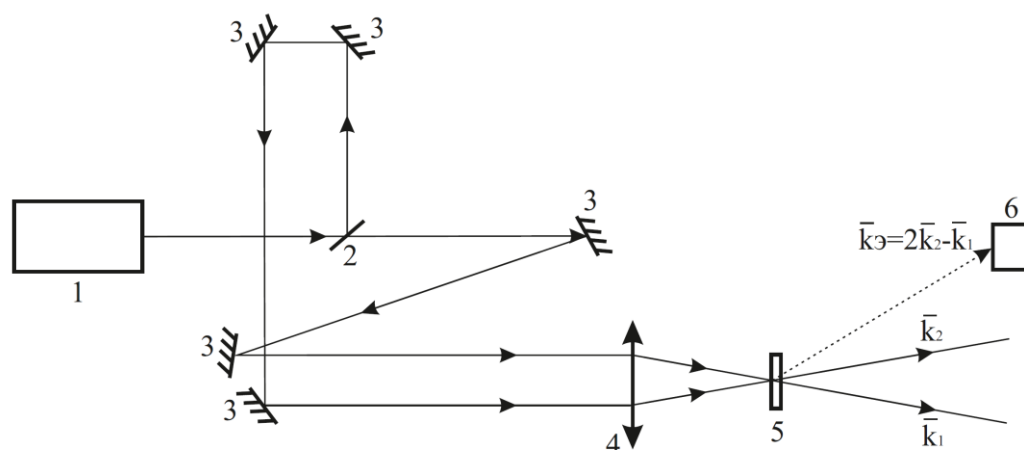


Рис. 1. Оптическая схема фемтосекундного эхо-спектрометра:

- 1 – TiSa лазерная установка; 2 – алюминиевый диэлектрический светоделиватель;
3 – оптические алюминиевые зеркала; 4 – фокусирующая линза; 5 – объект исследования;
6 – фотодетектор с диафрагмой

В работе использовалась фемтосекундная система 1 на кристаллах титан-сапфира состоящая: из задающего генератора, лазера накачки задающего генератора, стретчера, многопроходового усилителя, блока синхронизации и управления электрооптическим затвором, лазера накачки многопроходового усилителя и компрессора.

Фемтосекундные импульсы, вышедшие из компрессора фемтосекундной TiSa лазерной системы, попадали на делительное диэлектрическое зеркало 2, в котором происходило раздваивание на 2 пучка, с отношениями энергий в них как 1:1. Оба луча направлялись на фокусирующую линзу 9 ($F=15$ см), один – через оптические зеркала, второй – через линейный транслятор с минимальным шагом 2,5 мкм. В линзе 4 происходила фокусировка обоих пучков на твердотельный резонансный образец 5. Сформированный в ней сигнал фотонного эха падал на цифровой фотодетектор, подключенный к персональному компьютеру.

С помощью данной установки были сняты зависимости интенсивностей когерентных фемтосекундных импульсов самодифракции и фотонного эха от времени между возбуждающими импульсами. В эксперименте использовались возбуждающие импульсы длительностью 40 фс, поступающие с частотой 1000 Гц, длина волны 770-810 нм. Диаметр пучка в точке фокусировки линзой составлял 0,7 мм. Средняя энергия импульсов, подаваемых с частотой 1000 Гц, зарегистрированной измерителем мощности Nova 2 Ophir в направлении k_1 составляла 5,1 мДж, а в направлении k_2 – 11,2 мДж. Интенсивность первого возбуждающего импульса составляла 0,6 ТВт/см², второго возбуждающего импульса – 1,5 ТВт/см².

Отличительной особенностью регистрации фотонного эха в полупроводниковых средах наноразмерной толщины является наличие резонансных линий экситонов. В нашем эксперименте регистрация эхо-сигналов проводилась после рассеивания части его энергии на оптических фононах.

Интерпретация результатов. Проведенные исследования методом фемтосекундного фотонного эха тонких полупроводниковых пленок показал следующее.

1. Установлено, что при изменении угла между волновыми векторами возбуждающих лазерных импульсов имеет место смещение спектра возбуждающего лазерного излучения. Это смещение позволяло в пределах набора экситонных квантовых переходов полупроводникового перехода перевести процесс формирования фотонного эха с одного экситонного перехода на другой. Это приводило к тому, что при разных углах между волновыми векторами возбуждающих импульсов возбуждались разные экситонные переходы, и регистрируемые при этом времена необратимой поперечной релаксации T_2 имели различные значения (рис. 2).

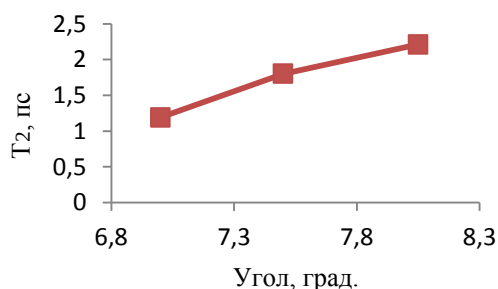


Рис. 2. Зависимость времени необратимой поперечной релаксации от угла падения возбуждающих фемтосекундных импульсов

2. Полученные микрозондовые фотографии пленок кремния, легированного бором (рис. 3), и кремния, легированного фосфором (рис. 4), показали, что разброс размеров кристаллитов-квантовых точек лежал в пределах 20-100 нм (для кремния, легирован-

ного бором) и 10-20 нм (для кремния, легированного фосфором). В то же время значения необратимой продольной релаксации для этих пленок оказались равны 0,278 и 0,672 пс соответственно. Это лежит в пределах теоретического объяснения, что в квантовых точках играют большую роль их геометрические размеры, из-за которых существенно изменяется время их дефазировки, и последнее увеличивается с уменьшением размера точек.

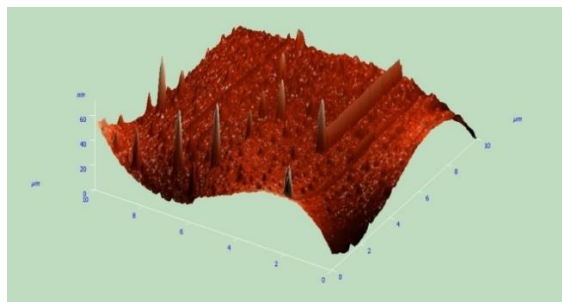


Рис. 3. Микрондзовая фотография поверхности пленки кремния, легированного бором

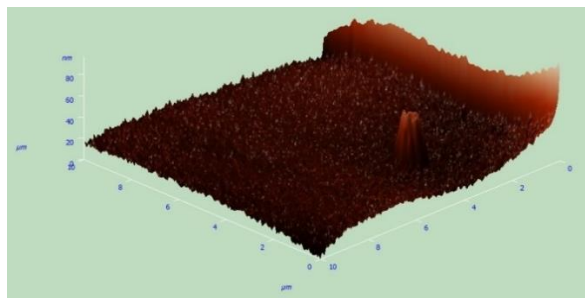


Рис. 4. Микрондзовая фотография поверхности пленки кремния, легированного фосфором

3. Из полученных графиков спада фемтосекундного фотонного эха (рис. 5) обнаружены биения, подтверждающие теорию о наличии в структуре полупроводниковых пленок ZnO дефектов и примесей, влекущих за собой наличие квантовых экситонных линий в запрещенной зоне.

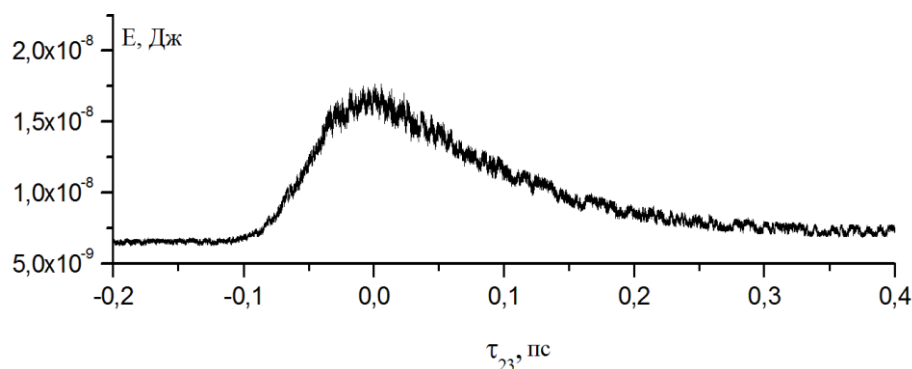


Рис. 5. Интенсивность фемтосекундных когерентных откликов в зависимости от времени между возбуждающими импульсами в трехслойной пленке ZnO/SiB/SiP.

На спаде фемтосекундного фотонного эха присутствуют биения интенсивности, подтверждающие наличие экситонных линий с малой энергией перехода между собой

Изменение периода биений и ее большая частота говорят о том, что экситонные линии расположены рядом друг с другом и по мере раздвижения возбуждающих импульсов ширина перехода между квантовыми экситонными линиями изменяется вследствие эффекта Ауслера-Таунса и проявляется в изменении частоты спектра фотонного эха [10].

Выводы

1. Разработана методика возбуждения методом фемтосекундного фотонного эха тонких полупроводниковых пленок.
2. Обнаружена зависимость времени спада фемтосекундного фотонного эха от угла падения возбуждающих импульсов.

3. Обнаруженные времена релаксации фемтосекундного фотонного эха для двух тонких пленок, отличающихся геометрическими размерами кристаллитов подтверждают результаты экспериментов свидетельствующие, что время дефазировки возбужденных носителей зависит от размеров их локализации, и чем меньше последнее, тем больше время дефазировки.

4. Зарегистрированные биения спада фемтосекундного фотонного эха свидетельствуют о наличии в структуре тонких полупроводниковых пленках структурных и примесных дефектов, влекущих за собой наличие в запрещенной зоне экситонных линий.

Список литературы

1. Pearton S.J., Norton D.P., Ip, K., Heo, Y.W. and Steiner T. Recent advances in processing of ZnO // J. Vac. Sci. Technol. B. 2004. Vol. 22. P. 932-954.
2. Копвиллем У.Х., Нагибаров В.Р. Световое эхо на парамагнитных кристаллах // Тез. докл. Л.: Изд-во ЛГУ. 1962. С. 28.
3. Kurnit N.A., Abella I.D., Hartmann S.R. Observation of photon echoes // Phys. Rev. Lett. 1964. Vol. 6, № 19. P. 567-570.
4. Манькин Э.А., Самарцев В.В. Оптическая эхоспектроскопия. М.: Наука, 1984. 270 с.
5. Фемтосекундная спектроскопия четырехволнового смешения в кристалле CdS / К.В. Иванин [и др.] // Ученые записки КГУ. Сер. Физ.-мат. науки. 2009. Т. 151. Кн. 1. С. 9-94.
6. Фотонное эхо и зондовая микроскопия как методы исследования тонких пленок для микроэлектронных датчиков / А.В. Мороз [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2012. № 2 (16). С. 64-72.
7. Мороз А.В. Система контроля кристаллического строения пленок нитрида алюминия в процессе их получения // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2013. № 2 (18). С. 88-97.
8. Белянин А.Ф., Самойлович М.И. Наноматериалы. IV. Тонкие пленки как наноструктурированные системы. М.: Техномаш, 2008. 254 с.
9. Miller P. Zinc Oxide: A Spectroscopic Investigation of Bulk Crystals and Thin Films : a Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Physics at the University of Canterbury University of Canterbury. 2008. Metal crystals. P 159.
10. Фемтосекундное фотонное эхо на неоднородных по размеру квантовых точках оксида цинка при комнатной температуре / Н.С. Вашурин [и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 1 (83). С. 65-69.

STUDY BY METHOD PHOTON ECHO OF THE OPTICAL PROPERTIES NANOMETER STRUCTURES IN THIN SEMICONDUCTOR FILMS

Vashurin Nikita Sergeevich, Popov Ivan Ivanovich, Sushentsov Nikolai Ivanovich, Stepanov Sergey Aleksandrovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Describes the results of a study by femtosecond photon echo thin semiconductor films fabricated by magnetron sputtering.

Keywords: *femtosecond photon echo; semiconductor thin films; crystal defects; excitons*

УДК 621.396.94

АЛГОРИТМЫ ДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОМ И АНАЛИЗА ДАННЫХ ПРИ НАКЛОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ ИОНОСФЕРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Иванов Владимир Алексеевич, Чернов Андрей Алексеевич,
Шалагин Михаил Александрович*

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола

Предложен подход к решению задачи мобильного управления и анализа данных наклонного зондирования ионосферы и ионосферных КВ-радиоканалов на сети трасс. На основе проведенных исследований показаны пути ее решения, иллюстрируемые схемами клиент-серверных архитектур, мобильной системы для взаимодействия с приёмным терминалом, интерфейса мобильного клиента.

Ключевые слова: управление экспериментом, наклонное зондирование, ионосфера, сетевые технологии

Введение. Прогресс в области вычислительной техники привел к развитию направления по созданию универсальных радиотехнических систем, основной функционал которых реализуется программными средствами (SDR). Стали создаваться сети автоматизированной ВЧ-связи, для организации которых требуются адаптивные, малогабаритные системы радиозондирования ионосферного радиоканала, передающие и приёмные терминалы подобных сетевых систем могут быть разнесены на тысячи километров. В ПГТУ развивается научное направление, связанное с дистанционным зондированием ионосферы и ионосферных каналов КВ-связи сложными декаметровыми радиосигналами.

Согласно результатам исследований компании Google [1], 25% населения России владеют смартфонами, 28% пользователей мобильных устройств имеют постоянный доступ в Интернет. Широкое распространение мобильных устройств открывает новые возможности, создаваемые мобильными приложениями. Примерами таких приложений являются банкинг [2], дистанционная диагностика врачом состояния здоровья пациента [3] и др. Важным направлением этого процесса является использование мобильных приложений в научных экспериментальных исследованиях.

Поэтому существует научная задача исследования возможности дистанционного управления параметрами сетевых терминалов системы зондирования и анализа получаемых экспериментальных данных в пунктах, удаленных от них на значительные расстояния, с помощью мобильных устройств и информационных технологий. Это особенно актуально, когда терминалы имеют возможность программно перестраивать свои функции, реализуя как систему связи, так и систему зондирования ионосферной радиоперелинии.

Цель работы – разработка системы удаленного управления экспериментом и анализа данных при наклонном зондировании ионосферы с использованием сетевых технологий.

Предметной областью исследований является радиозондирование ионосферы в КВ-диапазоне. Прикладной характер работы связан с применением результатов зон-

дирования к повышению эффективности дальней (на тысячи километров) КВ-связи и загоризонтной радиолокации.

Радиотехнические системы (РТС) радиолокации и связи в общем случае имеют структуру, представленную на рис. 1 [4, 5]. Связь между передающим и приемным терминалами осуществляется за счет наличия линии связи в виде физической среды – ионосферы, в которой радиосигналы распространяются в виде радиоволн. При этом считается, что радиоканал является составной частью РТС.

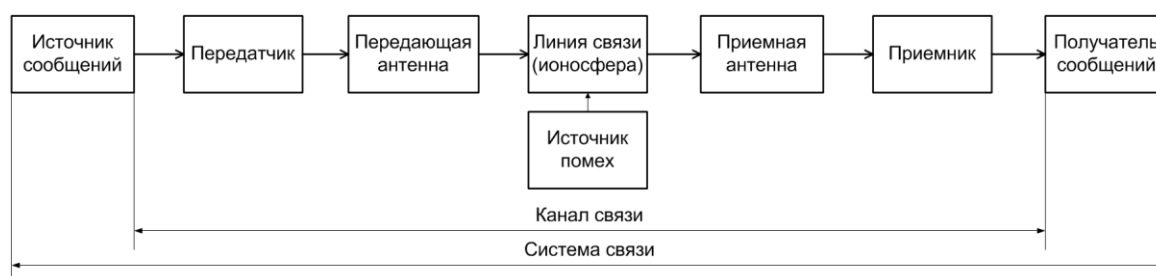


Рис. 1. Общая структура РТС, использующих для связи физическую среду – ионосферу

Обычно сигналы определяются рядом параметров, информация о которых имеет важное значение при обработке сигналов в приемнике с целью выделения в них полезной информации. Эти параметры определяют информационно-технические характеристики (ИТХ) РТС. Однако характеристики радиоканала могут быть не согласованы с параметрами сигнала, что приводит к искажению сигналов в радиоканале и негативно сказывается на работе РТС. Процедура согласования ИТХ РТС с параметрами канала должна быть адаптивной. Это связано с тем, что параметры канала испытывают постоянные изменения, вызванные изменениями характеристик ионосферы из-за вращения Земли вокруг своей оси (суточные) и вокруг Солнца (сезонные), а также из-за изменения солнечной активности и др. Вариации имеют различные масштабы (периоды – во временной области, частоты – в частотной).

Для решения проблемы адаптации используется зондирование ионосферы в КВ диапазоне, по результатам которого оцениваются параметры частотных каналов с различными средними частотами и определяется область допустимых значений для этих частот от наименьшей применимой частоты (НПЧ) до максимальной применимой частоты (МПЧ). Ключевыми параметрами парциальных каналов являются: отношение сигнал-шум, рассеяние в канале по задержке, рассеяние в канале по доплеровскому смещению частоты [6, 7].

В 2013 году в Поволжском государственном технологическом университете разработан модернизированный вариант ионозонда с непрерывным ЛЧМ-сигналом – на SDR-платформе USRP N210 с дочерними платами LFRX и LFTX [8]. В экспериментах используется сеть наклонного радиозондирования ионосферы на протяженных радиотрассах. При этом анализ экспериментальных данных осуществляется в данном случае в центре сети г. Йошкар-Ола.

В процессе работы возникла научно-техническая проблема управления ионозондами сети и анализа экспериментальных данных параметров парциальных радиоканалов из удаленного мобильного пункта, потребовавшая проведения соответствующих исследований. Учитывалось, что разрабатываемая мобильная система должна обеспечивать взаимодействие с устройством программно определяемого ионозонда. Поэтому вначале была проанализирована возможность использования средств удаленного ад-

министрирования (RD), таких как TeamViewer, UltraVNC, FreeRDP и др. Оказалось, что они обладают рядом существенных для мобильного использования недостатков:

- высокими требованиями к качеству сетевого канала из-за необходимости ре-трансляции содержимого экрана через компьютерную сеть;
- большим временем отклика на действия пользователя;
- отсутствием возможности одновременной работы нескольких клиентов;
- клиент, имеющий полный контроль над системой, может случайно или намеренно нарушить работу системы.

Нами предложен подход, позволяющий решить данную научно-техническую задачу путем создания собственных мобильных клиент-серверных приложений. В нем серверная часть непосредственно управляет процессом (в нашем случае – ионозондом), а клиентская предоставляет пользователю необходимый интерфейс и отправляет запросы на выполнение задач управления и анализа. Это позволяет решить большинство проблем RD-метода, но требует больших временных затрат.

Было учтено, что на данный момент существует две основных архитектуры клиент-серверных приложений: двухуровневая и трехуровневая [9], представленные на рис. 2. В двухуровневой архитектуре система разделяется на уровень представления (интерфейс пользователя) и уровень логики (реализация основной функциональности приложения). Если часть логики перенесена на клиента, то говорят о «толстом» клиенте, в ином случае клиент считается «тонким». Трехуровневая архитектура выделяет отдельный уровень данных. На этом уровне работает сервер БД, обычно представленный еще одним компьютером. На сервере БД хранятся данные, обрабатываемые на уровне логики.

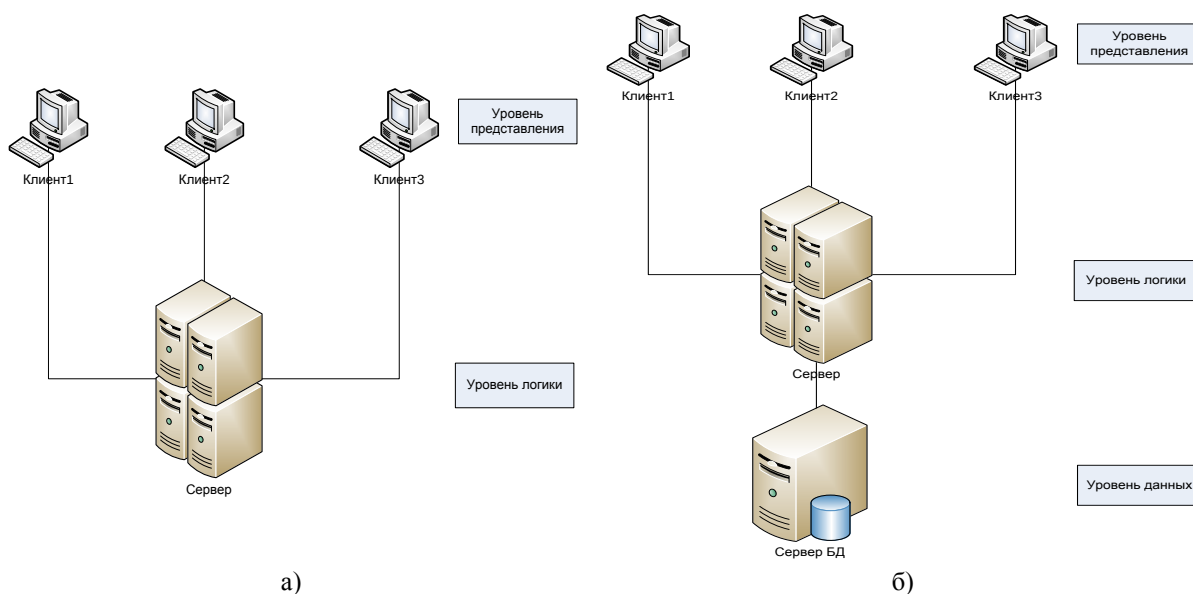


Рис. 2. Схемы клиент-серверных архитектур:
а – двухуровневая, б – трехуровневая архитектура

Нами была выбрана архитектура «двухуровневый клиент-сервер с тонким клиентом». Схема данной архитектуры представлена на рис. 3 и включает в себя:

- ПК с программным обеспечением GNU Radio для взаимодействия с USRP, а также программой управления работой ионозонда, получающей команды с сервера обработок;

- сервер обработок, представляющий собой отдельный ПК с приложением, обрабатывающим запросы клиентов, выполняющим вторичную обработку ионограмм, передачу сжатого файла ионограммы, суточных ходов и других результатов обработки удалённому клиенту, и отправляющим команды программе управления терминалом ионозонда. Также на сервере работает локальный NTP-сервер, хранятся кэшированные результаты предыдущих обработок;
- сетевую систему хранения данных (NAS), на которой хранятся файлы ионограмм;
- клиенты – на данный момент для ОС Android.

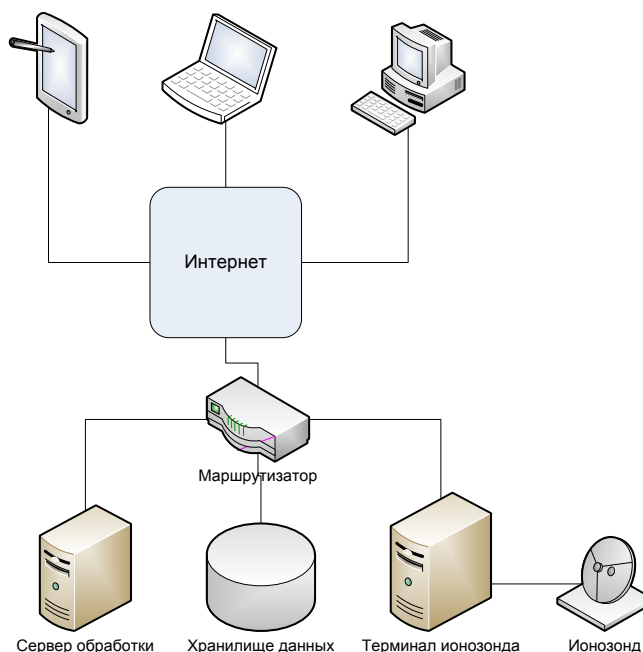


Рис. 3. Схема архитектуры мобильной системы для взаимодействия с приёмным терминалом

Терминал ионозонда, сервер обработок и хранилище данных объединены в локальную сеть посредством маршрутизатора (возможно использование коммутатора 3 уровня). Маршрутизатор настроен таким образом, что доступ извне возможен только на определенные порты сервера обработок. Сервер обработок, терминал ионозонда и клиенты взаимодействуют по реализованному нами протоколу прикладного уровня стека TCP/IP, основанному на TCP. У клиента есть три основных сценария взаимодействия с системой: управление параметрами ионозонда, запрос полученных ионограмм и запрос обработок.

При запросе на управление ионозондом сначала проверяется, имеет ли данный пользователь привилегии на управление ионозондом, и, если параметры корректны, команда передается терминалу ионозонда. При запросе ионограммы проверяется, есть ли она в наличии. Если ионограмма обнаружена, она передается клиенту, в ином случае клиенту передается сообщение об ошибке.

При запросе обработок сначала проверяется наличие обработки в кэше. Если обработка найдена, она передается клиенту. Если нет, сервер проводит вторичную обработку ионограммы, передает результат клиенту и заносит его в кэш.

Терминал ионозонда копирует полученные ионограммы в хранилище данных и добавляет запись о новой ионограмме в БД сервера обработок.

Библиотека сетевого взаимодействия реализована на языке программирования Java. Ее основными особенностями являются: кроссплатформенность (ОС Android, Windows, Linux, Mac OS X); настраиваемый протокол взаимодействия; асинхронное получение, передача и обработка сообщений; шифрование канала по алгоритмам AES, DES и RSA.

Выводы. Представлен подход в решении задачи мобильного управления и анализа данных наклонного зондирования ионосферы и ионосферных КВ-радиоканалов на сети трасс. Показаны способы реализации клиент-серверных архитектур мобильной системы для взаимодействия с приёмным терминалом, а также интерфейс мобильного клиента.

Список литературы

1. Искажение сложных декаметровых радиосигналов в дисперсных ионосферных радиоканалах при квазизенитном распространении / В.А. Иванов [и др.] // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. Т. 8, № 1. С. 43-53.
2. Иванов Д.В. Методы и математические модели исследования распространения в ионосфере сложных декаметровых сигналов и коррекции их дисперсионных искажений: монография. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. 268 с.
3. Информационно-аналитическая система для исследования ионосферы и каналов декаметровой радиосвязи: монография / Д.В. Иванов [и др.]. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. 256 с.
4. Прокис Дж. Цифровая связь: пер. с англ. / под ред. Д.Д. Кловского. М.: Радио и связь, 2000. 800 с.
5. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений. М.: Советское радио, 1970. 728с.
6. ЛЧМ-ионозонд и его применение в ионосферных исследованиях / В.А. Иванов [и др.] // Изв. вузов. Радиофизика. 2003. Т. 47, № 11. С. 919-952.
7. Иванов В.А., Иванов Д.В., Рябова Н.В. Зондирование ионосферы и декаметровых каналов связи сложными радиосигналами // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. № 1. С. 3-37.
8. SDR-ионозонд с непрерывным ЛЧМ-сигналом на платформе USRP / В.А. Иванов [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2013. № 3. С. 80-94.
9. Иванов В.А., Чернов А.А. Развитие теории синхронизации РТС декаметровой связи и панорамного зондирования ионосферы // Телекоммуникации. Москва. 2012. № 2. С.16-23.

ALGORITHM OF FURTHER EXPERIMENT CONTROL AND DATA ANALYSIS IONOSPHERE SOUNDING USING NETWORK TECHNOLOGIES

*Ivanov Vladimir Alekseevich, Chernov Andrei Alekseevich,
Shalagin Mikhail Aleksandrovich*

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

We propose an approach to solving the problem of mobile management and the analysis of data of oblique sounding of an ionosphere and ionospheric HF radio channels on a network of radio links. On the basis of our research, we have shown the way to solve this problem, illustrated by diagrams of client-server architectures, mobile client interface and a mobile system to interaction with the receiving terminal.

Keywords: control of the experiment, oblique sounding, ionosphere, network technology

УДК 621.371.25;550.388.2

К ВОПРОСУ О ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ РЕГУЛЯРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ДИСПЕРСИОННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОНОСФЕРНОЙ ДЕКАМЕТРОВОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

*Иванов Владимир Алексеевич, Иванов Дмитрий Владимирович,
Михеева Надежда Николаевна, Киселева Ольга Валерьевна*

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
IvanovVA@volgatech.net

Рассмотрены полиномиальные модели регулярной составляющей частотной дисперсии и методика полиномиальной фильтрации дисперсионной характеристики ионосферного радиоканала. Приведены результаты экспериментов по оценке параметров линейности и нелинейности частотной дисперсии и установлению их зависимости от средней относительной частоты радиоканала и протяженности радиотрассы.

Ключевые слова: частотная дисперсия, дисперсионная характеристика радиоканала, регулярная составляющая частотной дисперсии, параметр линейности, параметр нелинейности

Введение. В последнее время в практике высокочастотной связи, загоризонтной радиолокации и зондировании ионосферы все большее применение находят широкополосные сигналы, позволяющие повышать помехоустойчивость. Однако частотная дисперсия среды ограничивает максимально возможную полосу сигнала. Частотная дисперсия проявляется в зависимости времени группового запаздывания сигнала от частоты и описывается дисперсионной характеристикой (ДХ) радиоканала. Для исследования законов частотной дисперсии проводятся эксперименты по зондированию ионосферы, например, сигналами с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) [1].

Ионосферный радиоканал в приближении геометрической оптики [2] можно рассматривать как многомерную линейную радиотехническую систему. Если амплитудный спектр сложного сигнала является однородным на полосе частот, то сигнал на выходе линейной системы с учетом сжатия подобен ее импульсной характеристике [3]. Следовательно, они испытывают одинаковые дисперсионные искажения. Поэтому для разработки адекватных методов их коррекции необходимо исследовать влияние частотной дисперсии на характеристики ионосферного радиоканала.

Цель работы – теоретически исследовать законы регулярной составляющей частотной дисперсии и разработать методику полиномиальной фильтрации дисперсионной характеристики ионосферной декаметрового линии связи.

Решаемые задачи: 1) создать математические модели частотной дисперсии для широкополосных ионосферных радиоканалов в случайно-неоднородной среде; 2) разработать методику полиномиальной фильтрации дискретной модели дисперсионной характеристики радиоканала; 3) исследовать параметры регулярной составляющей частотной дисперсии в зависимости от средней частоты канала, протяженности радиотрассы, порядка луча распространения сигнала, времени суток.

Математическое моделирование. Анализ всего множества натурных ионограмм, полученных с помощью ЛЧМ-ионозонда разработки ПГТУ, показал, что в общем случае ДХ широкополосного ионосферного радиоканала можно записать в виде:

$$\tau_k(f) = \bar{\tau}_{kp}(f) + \tilde{\tau}_k(f), \quad (1)$$

где $\bar{\tau}_{kp}(f)$ – регулярная, $\tilde{\tau}_k(f)$ – стохастическая составляющие частотной дисперсии.

Регулярная составляющая $\bar{\tau}_{kp}(f)$ частотной дисперсии представляет собой гладкую функцию, которая за пределами точек разрыва допускает полиномиальную аппроксимацию. На рис. 1а приведен пример натурной ионограммы, на которой видны моды распространения сигнала, представляющие собой экспериментальную ДХ ионосферных радиоканалов. На рис. 1б регулярные составляющие ДХ мод распространения изображены гладкими линиями. Здесь видны «зашумленности», которые носят случайный характер и представляют собой проявления стохастической дисперсии. В [4] показано, что для описания стохастической составляющей ДХ $\tilde{\tau}_k(f)$ может быть использован гауссов случайный процесс.

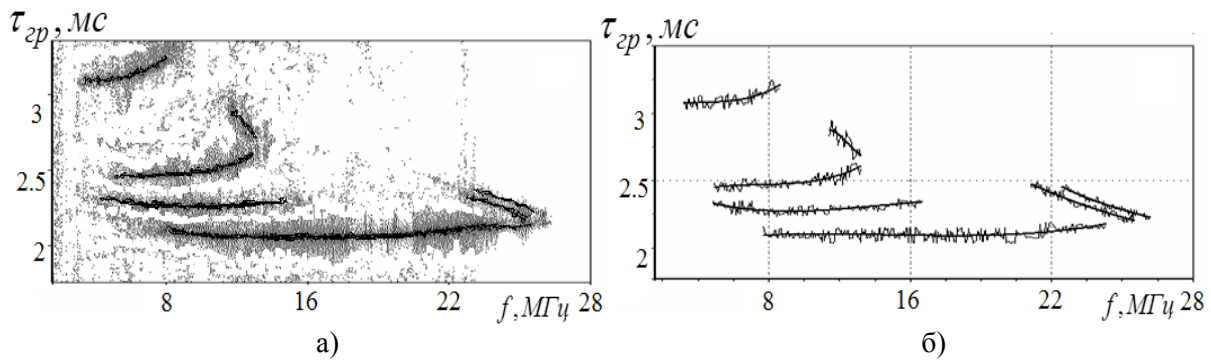


Рис. 1. Натурная ионограмма (а) и полиномиальная аппроксимация дисперсионных характеристик мод распространения сигнала (б)

Функция $\bar{\tau}_{kp}(f)$ может быть аппроксимирована полиномами по степеням f или $(f - \bar{f})$ вида:

$$\bar{\tau}_{kp}(f) = P_n(f) = \sum_{j=0}^n a_j f^j \quad \text{и} \quad \bar{\tau}_{kp}(f) = P_n(f) = \sum_{j=0}^n \alpha_j (f - \bar{f})^j \quad (2)$$

При этом для математического анализа функции $\bar{\tau}_{kp}(f)$ удобно использовать вторую из формул (5), которая представляет собой многочлен Тейлора. Это обусловлено с тем, что известен геометрический смысл первых его коэффициентов, которые связаны с производными функции в точке $f = \bar{f}$ следующим образом:

$$\alpha_j = \frac{1}{j!} \left. \frac{d^j \bar{\tau}_{kp}}{df^j} \right|_{f=\bar{f}} = \frac{1}{j!} \left. \frac{d^j P_n}{df^j} \right|_{f=\bar{f}}. \quad (3)$$

Согласно математическому анализу, параметр $s_k = d\bar{\tau}_{kp}/df$ геометрически представляет собой наклон дисперсионной кривой к оси частот, а $v_k = ds_k/df = d^2\bar{\tau}_{kp}/df^2$ – ее выпуклость (вверх/вниз) или выпуклость/вогнутость. При этом s_k и v_k являются параметрами линейности и нелинейности частотной дисперсии соответственно.

Важным для анализа является вопрос о высшей степени полинома. В случае, когда высшая степень полинома равна единице, регулярную составляющую частотной дисперсии называют линейной. При большей степени – нелинейной. Визуальный анализ натурных ионограмм показал, что степень аппроксимирующего полинома не будет

высокой. При этом нелинейная частотная дисперсия характерна в основном для радиотрасс протяженностью менее 500 км. Для радиотрасс большей протяженности нелинейность больше проявляется вблизи максимально применимых частот (МПЧ).

Линейная регулярная составляющая $\bar{\tau}_{kp}(f)$ частотной дисперсии может быть описана полиномом первой степени:

$$\bar{\tau}_{kp}(f) = \bar{\tau}_{kp}(\bar{f}) + s_k(\bar{f})(f - \bar{f}), \quad (4)$$

а нелинейная – полиномом второй степени:

$$\bar{\tau}_{kp}(f) = \bar{\tau}_{kp}(\bar{f}) + s_k(\bar{f})(f - \bar{f}) + \frac{1}{2}v_k(\bar{f})(f - \bar{f})^2. \quad (5)$$

Техника эксперимента. Для теоретического исследования параметров регулярной составляющей частотной дисперсии использовалась полиномиальная аппроксимация дискретной модели ДХ. Для построения дискретной ДХ применялась методика, представленная в [3], в основе которой лежит двухслойная параболическая модель профиля электронной концентрации ионосферы. При этом ее параметры определялись на основе данных, представляемых Международной справочной моделью ионосферы IRI [5]. Дискретная ДХ представляет собой синтезированную ионограмму, которая является математической моделью натурной ионограммы. Пример синтезированной ионограммы приведен на рис. 2.

Для частот выбранного радиоканала дискретная ДХ аппроксимируется полиномом определенной степени в зависимости от характера частотной дисперсии. На рис. 2 приведен пример аппроксимированной на полосе $[f_1; f_2]$ полиномиальной ДХ в случае линейной (рис. 2а) и нелинейной (рис. 2б) регулярной составляющей частотной дисперсии.

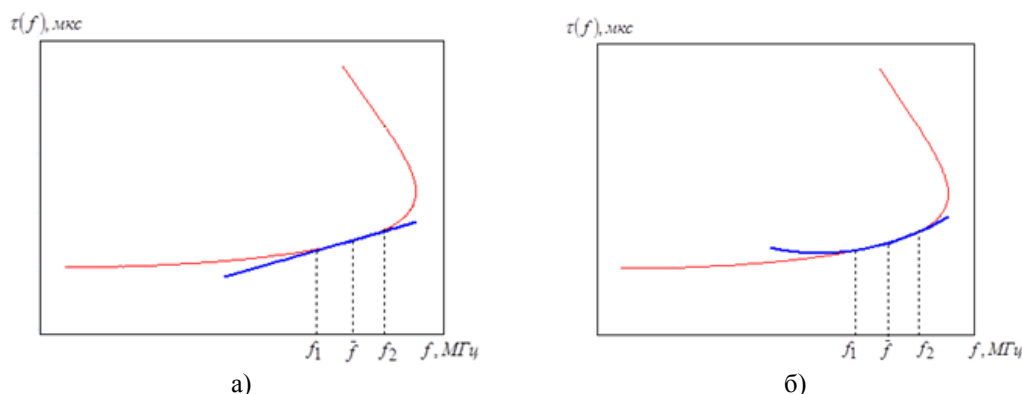


Рис. 2. Синтезированная ионограмма и аппроксимация дискретной дисперсионной характеристики: а) полиномом 1-й степени, б) полиномом 2-й степени

Для построения регулярной составляющей $\bar{\tau}_{kp}(f)$ может быть использован метод наименьших квадратов, который заключается в минимизации функции невязок:

$$G(a_0; a_1; \dots; a_n) = \sum_{l=1}^m (\bar{\tau}_{kp}(f_l) - \tau_l)^2, \quad (6)$$

где τ_l – дискретные отсчеты синтезированной ионограммы, соответствующие частотам $f_l \in [\bar{f} - B/2, \bar{f} + B/2]$.

При этом определяются все параметры полиномиальной модели ДХ. В случае линейной аппроксимации ДХ используется функция $\bar{\tau}_{kp}(f) = a_1 f + a_0$. При этом пара-

метр линейности $s_k = a_1$. Нелинейную регулярную составляющую $\bar{\tau}_{kp}(f)$ можно аппроксимировать полиномом $\bar{\tau}_{kp}(f) = a_2 f^2 + a_1 f + a_0$. В этом случае параметры линейности и нелинейности соответственно равны: $s_k = 2a_2 \bar{f} + a_1$ и $v_k = 2a_2$.

Интерпретация результатов. Разработанная методика полиномиальной фильтрации регулярной составляющей $\bar{\tau}_{kp}(f)$ ДХ ионосферной декаметрового линии связи позволила оценить ее параметры и установить их зависимость от различных геофизических факторов.

Согласно результатам исследований, проведенным для случая линейной регулярной частотной дисперсии [3, 6, 7], параметр линейности s_k растет с увеличением средней относительной частоты, с увеличением порядка луча. Также установлено, что чем больше дистанция распространения, тем меньше параметр s_k . Некоторые полученные результаты иллюстрирует рис. 3.

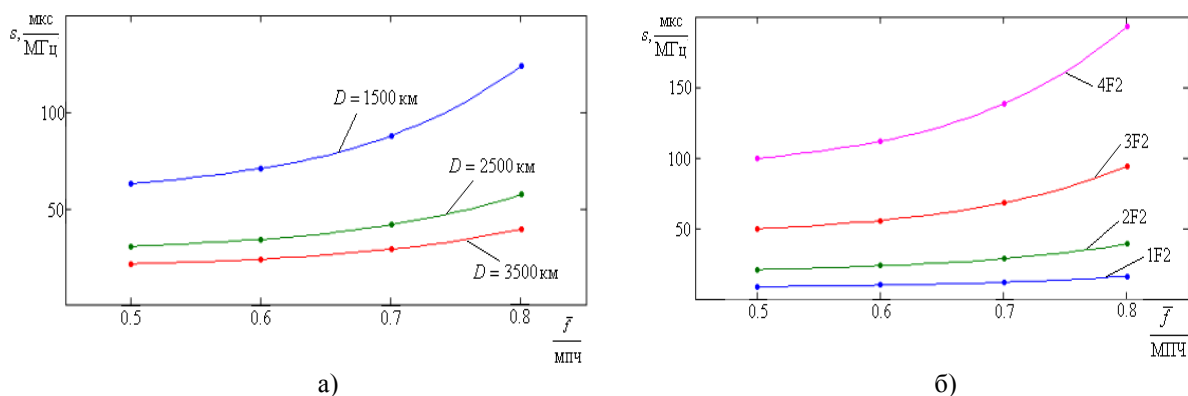


Рис. 3. Зависимость параметра линейности регулярной составляющей частотной дисперсии от средней относительной рабочей частоты и протяженности трассы (а) и от порядка лучей распространения (б)

Аналогичные результаты были получены и для параметра нелинейности v_k . В частности, установлено, что параметр v_k возрастает с увеличением средней относительной частоты радиоканала и уменьшается с увеличением протяженности радиотрассы, а также увеличивается от дня к ночи (рис. 4).

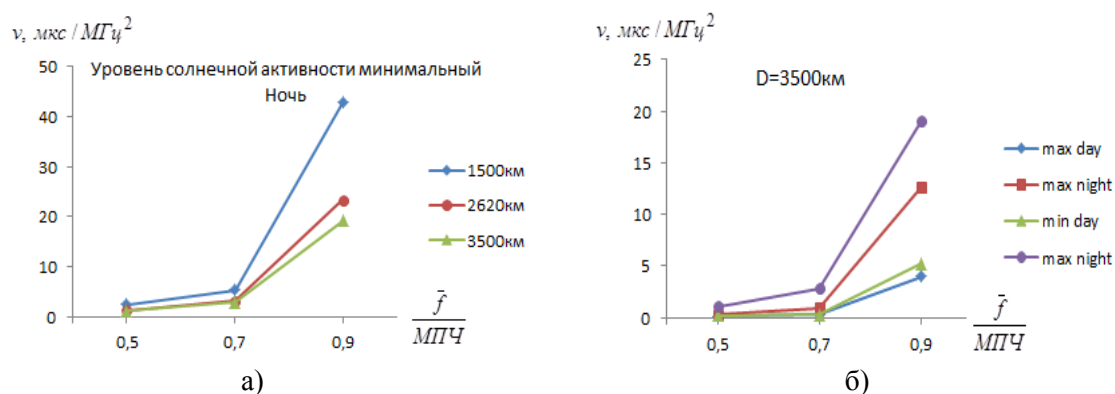


Рис. 4. Зависимость параметра нелинейности регулярной составляющей частотной дисперсии от средней относительной рабочей частоты и протяженности радиотрассы (а) и от времени суток (б)

Выводы. Разработана методика полиномиальной фильтрации регулярной составляющей частотной дисперсии ионосферного радиоканала. Показано, что для аппроксимации дисперсионной характеристики могут быть использованы полиномы первой и второй степени. Установлено, что значения параметров линейности и нелинейности частотной дисперсии растут с увеличением средней относительной частоты радиоканала и уменьшаются с увеличением протяженности радиотрассы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 11-07-00420-а; 12-02-31734_мол_а; 13-07-00371-а; 13-02-00524-а; 13-07-97041; ФЦП: ГК №14.132.21.1418; АБЦП: № 8.2523.2011, № 8.2448.2011, № 8.2559.2011; 8.2346.2011.

Список литературы

1. Иванов В.А., Иванов Д.В., Рябова Н.В. Зондирование ионосферы и декаметровых каналов связи сложными радиосигналами // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. Т. 8, № 1. С. 3-37.
2. Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. М.: Наука, 1967.
3. Иванов Д.В. Методы и математические модели исследования распространения в ионосфере сложных декаметровых сигналов и коррекции их дисперсионных искажений: монография. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. 215 с.
4. Влияние стохастически нерегулярной дисперсии на характеристики широкополосного высокочастотного канала / Иванов В.А. [и др.] // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2011. № 1. С. 31-37.
5. International Reference of Ionosphere [Электронный ресурс]. URL: <http://iri.gsfc.nasa.gov> (дата обращения 25.10.2013).
6. Рябова М.И. Синтез и исследование дисперсионных характеристик высокочастотных радиоканалов для случая квазизенитного распространения радиоволн // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2011. Т. 13, № 3. С. 36-45.
7. Определение основных параметров многомерного коротковолнового радиоканала с использованием панорамного ионозонда / Иванов В.А. [и др.] // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2011. Т. 12, № 2. С. 15-23.

TO THE QUESTION OF POLYNOMIAL FILTERING OF REGULAR COMPONENT OF THE DISPERSION CHARACTERISTICS OF THE IONOSPHERIC DECAMETER COMMUNICATION LINES

**Ivanov Vladimir Alekseevich, Ivanov Dmitrii Vladimirovich,
Mikheeva Nadezda Nikolaevna, Kiseleva Olga Valerevna**

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The polynomial models of the regular component of the frequency dispersion and the method of the polynomial filtering the dispersion characteristics of the ionospheric radio channel are reviewed. The results of experiments on estimation of parameters of linearity and nonlinearity frequency dispersion and establishing their dependency on average relative frequency of the radio channel and the length of the paths are presented.

Keywords: frequency dispersion, dispersion characteristics of the radio channel, regular component of frequency dispersion, parameter of linearity, parameter of nonlinearity

УДК 621.396.94

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТОТНОЙ ДИСПЕРСИИ ПО ДАННЫМ ТРАНСИОНОСФЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

*Иванов Владимир Алексеевич, Рябова Наталья Владимировна,
Рябова Мария Игоревна, Кислицын Алексей Александрович*

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
RyabovaMI@volgatech.net

Предлагается подход для решения задачи исследования влияния частотной дисперсии при распространении сигналов в трансionoсферном радиоканале. Представлены результаты вычислений дисперсионной характеристики и её наклона на основе смоделированных значений полного электронного содержания.

Ключевые слова: частотная дисперсия, дисперсионная характеристика, наклон дисперсионной характеристики, полное электронное содержание

Введение. В настоящее время широко изучается распространение радиоволн в средах с частотной дисперсией [1-4]. Диспергирующей средой передачи данных называется такая среда распространения, в которой монохроматические составляющие сигнала с различными частотами распространяются с разной фазовой скоростью [5]. К таким средам распространения относится и ионосфера.

Ионосфера обладает дисперсными свойствами, то есть при распространении через нее происходит изменение фазовых соотношений между гармоническими составляющими сигнала. В свою очередь, дисперсионные искажения приводят к частичной или полной потере полезной информации в сигнале-носителе. Таким образом, актуальной является задача исследования влияния частотной дисперсии на вид дисперсионной характеристики (ДХ) по данным трансionoсферного зондирования.

Цель работы – создание методики расчёта дисперсионной характеристики радиосигналов при трансionoсферном зондировании.

Решаемые задачи: 1) рассмотреть принципы расчёта ДХ радиосигналов при трансionoсферном распространении; 2) разработать подход к решению научной проблемы исследования влияния частотной дисперсии при распространении сигналов в трансionoсферном радиоканале; 3) смоделировать данные для вычисления ДХ и наклона ДХ; 4) проанализировать полученные результаты.

Техника эксперимента и методика обработки результатов. Важность ДХ в задачах распространения заключается в том, что интегрирование её позволяет восстановить ФЧХ радиоканала. Её можно исследовать как теоретически, так и в натурных экспериментах, поскольку она представляет собой время запаздывания в тракте распространения «группы» гармонических сигналов на близких частотах, точнее говоря, время распространения огибающей этой «группы» [6]. Теоретически ДХ канала может быть определена на основе решения волнового уравнения (уравнения эйконала). Второй случай позволяет при помощи ионограмм восстанавливать ФЧХ канала в соответствии с формулой

$$\varphi_j(f) = \varphi_j(f_p) + 2\pi \int_{f_p}^f \tau_j(F) dF = \varphi_j(f_p) + 2\pi \tau_j(f_p)(f - f_p) + 2\pi \int_{f_p}^f \Delta \tau_j dF.$$

Третье слагаемое появляется при наличии у ДХ наклона $s = d\tau / dt$, приводящее к дисперсионным искажениям. Таким образом, полоса частот, на которой нелинейная от частоты составляющая ФЧХ превышает определенный уровень, может служить оценкой дисперсионных искажений.

Для трансионосферного распространения, когда спутник Земли находится на орбите, значительно превышающей высоту максимума слоя F_2 , и на земле (или на спутнике) принимаются сигналы первой кратности, система распространения является одномерной ($j=1, m=1$). В этом случае ДХ тракта имеет вид [7–9]:

$$\tau(f) = \frac{2}{c} \int_0^z \frac{dz}{n(f, z)},$$

где $n = \sqrt{1 - f_0^2 / f^2}$, $f_0^2 = e^2 N / \pi m = \mu N$ – квадрат плазменной частоты.

Обычно на таких радиолиниях применяются частоты, значения которых значительно превышают плазменные частоты слоя F_2 . Поэтому отношение квадратов частот, входящее в выражение для показателя преломления, много меньше единицы для всех высот ионосферы. Это позволяет разложить подынтегральное выражение в ряд Тейлора по степеням этого отношения:

$$\tau(f) \approx \frac{2}{z} + \frac{\mu}{c \cdot f^2} N_t,$$

где $N_t = \int_0^z N(z) dz$ – при больших z является полным электронным содержанием (ПЭС) ионосферы.

Для вычисления абсолютного вертикального ПЭС используется алгоритм, основанный на одновременном использовании фазовых и групповых измерений ПЭС и простой модели измерений ПЭС, учитывающей дифференциальные кодовые задержки [10,11].

Простейшую оценку дисперсионных искажений можно получить, сравнивая полосу сигнала с полосой когерентности.

Полоса когерентности канала равна:

$$\Delta f_k = 2 / \sqrt{\pi / |s(f)|},$$

где $s(f) = \frac{d\tau}{df}$.

Следовательно, полоса когерентности для трансионосферного радиоканала определяется следующим образом:

$$\Delta f_k = \sqrt{cf_p^3 / \pi \mu N_t}.$$

Результаты эксперимента. Для вычисления ДХ по данным трансионосферного зондирования необходимо рассчитать суточные вариации ПЭС. В качестве экспериментальных данных использовались результаты измерений за 4 дня 2013-2014 гг. Анализируемые дни, а также среднее значение K_r за сутки, максимальное и минимальное значение ПЭС, среднеквадратичное отклонение (СКО) ПЭС по данным отдельного приёмника GPS/ГЛОНАСС представлены в таблице:

Анализируемые дни

г. Йошкар-Ола					
Дата	день года	KP_{cp}	$PЭC_{мин},$ TECU	$PЭC_{макс},$ TECU	СКО
2013 год					
13 июня	164	1,2	12,4	21,5	2,8
7 ноября	311	2,4	3,7	33	10
2014 год					
28 января	28	1	4	19,8	5,3
13 марта	72	2,8	9,4	39,7	10,3

Суточные ходы абсолютного ПЭС над г. Йошкар-Олой для различных сезонов представлены на рис. 1.

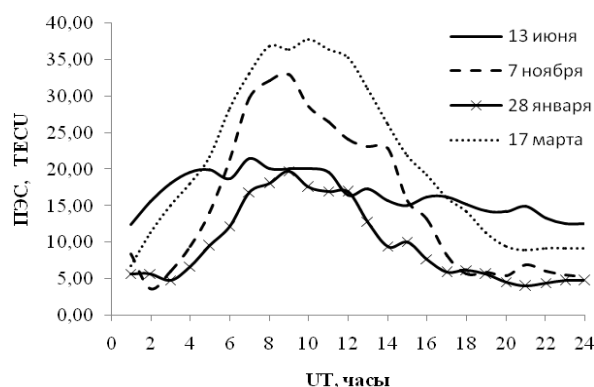


Рис. 1. Суточные ходы абсолютного ПЭС над г. Йошкар-Олой

Таким образом, рассчитав среднее значение ПЭС для каждого из сезонов, построим дисперсионные характеристики рабочих сигналов 0,003–3 ГГц (рис. 2). Основным параметром дисперсности является наклон ДХ, поэтому для выбранных дней в сезоне построены соответствующие зависимости (рис. 3).

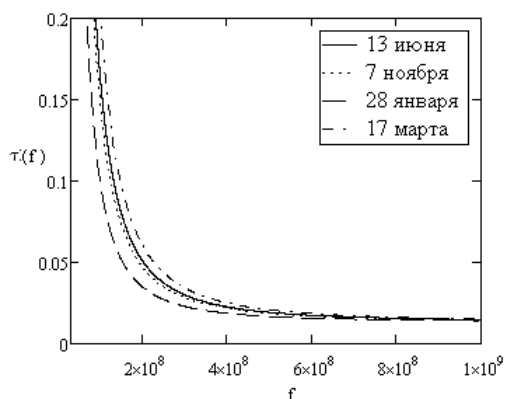


Рис. 2. ДХ трансионосферного радиоканала

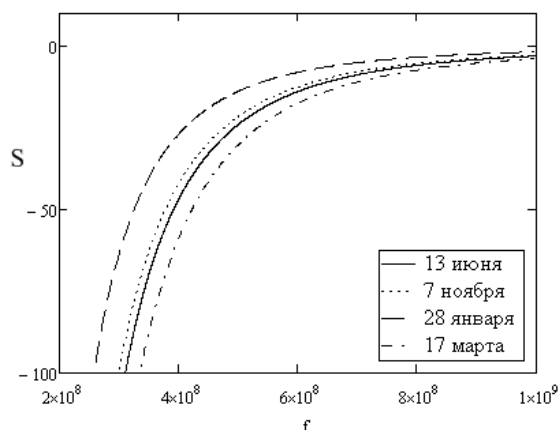


Рис. 3. Зависимости наклонов ДХ

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что зондирующие сигналы будут искажаться дисперсией на частотах, превышающих критическую частоту ($\approx 10\text{--}15$ МГц).

Вывод. В ходе исследования была разработана методика расчёта ДХ для сигналов, распространяющихся в трансионосферном радиоканале. Получены дисперсион-

ные характеристики для различных сезонов. В дальнейшем необходимо провести тщательное исследование дисперсионных искажений сигналов с учётом различных факторов трансионосферного эксперимента.

Список литературы

1. Иванов В.А. Зондирование ионосферы и декаметровых каналов связи сложными радиосигналами // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы, 2010. № 1 (8). С. 3-37.
2. Искажение сложных декаметровых радиосигналов в дисперсных ионосферных радиоканалах при квазизенитном распространении / В.А. Иванов [и др.] // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. № 1 (8). С. 43-53.
3. Исследование регулярной и стохастической дисперсии в ионосферных широкополосных высокочастотных радиоканалах / В.А. Иванов [и др.] // Нелинейный мир. 2012. Т. 10, № 10. С. 678-686.
4. Искажения широкополосного радиосигнала в ионосфере, вызванные нелинейной частотной дисперсией / Д.В. Иванов [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2013. № 2(18). С. 5-15.
5. Петренко П. Б., Бонч-Бруевич А. М. Моделирование и оценка ионосферных искажений широкополосных радиосигналов в локации и связи // Вопросы защиты информации. 2007. № 3. С. 24-29.
6. Иванов Д.В., Иванов В.А., Лашевский А.Р. Исследование дисперсности сверхширокополосных декаметровых радиоканалов и коррекции дисперсионных искажений // Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике: III Всероссийская научная конференция. Муром: Изд.-полиграф. центр МИВЛГУ, 2010. С. 7-16.
7. Иванов Д.В. Методы и математические модели исследования распространения в ионосфере сложных декаметровых сигналов и коррекции их дисперсионных искажений: монография. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. 268 с.
8. Арманд Н.А., Иванов В.А. Коррекция дисперсионных искажений широкополосных сигналов // Распространение радиоволн: сборник докладов XXI Всероссийской научной конференции. В 2-х т.: Т. 1. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. 457 с.
9. Многомерный высокочастотный радиоканал и экспериментальные исследования его основных характеристик / В.А. Иванов [и др.] // Электромагнитные волны и электронные системы, 2013. Т.18. № 8. С. 40-48.
10. Суточная динамика вертикального полного электронного содержания над городами Иркутск и Йошкар-Ола по данным GPS/ГЛОНАСС и модели IRI-2012 / Ю.В. Ясюкевич [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2013. № 3(19). С. 18-29.
11. Влияние геомагнитных возмущений на полное электронное содержание ионосферы / В.А. Иванов [и др.] // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2011. № 1. С. 24-30.

SPECIFYING FREQUENCY DISPERSION ACCORDING TRANSIONOSPHERIC SOUNDING

**Ivanov Vladimir Alekseevich, Ryabova Natal'ya Vladimirovna,
Ryabova Mariya Igorevna, Kislitsyn Aleksey Aleksandrovich**

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The approach to solving the problem of investigation of the influence of frequency dispersion in the propagation of signals in transionospheric radio channel. The results of calculations of the dispersion characteristics and its inclination on the basis of the simulated values of the total electron content.

Keywords: frequency dispersion, dispersion characteristics, dispersion slope, total electron content

УДК 621.396.94

ПОЛИНОМИАЛЬНАЯ АППРОКСИМАЦИЯ ДИСПЕРСИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЧ-РАДИОКАНАЛОВ КОРОТКИХ РАДИОЛИНИЙ

**Иванов Владимир Алексеевич, Рябова Мария Игоревна,
Шомина Галина Александровна**

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
RyabovaMI@volgatech.net

Разработана методика полиномиальной аппроксимации дисперсионных характеристик ВЧ-радиоканалов для радиолоний протяженностью 40-400 км. Получены оценки влияния на меру окрестностей критических точек суточных и сезонных вариаций ионосферы, а также полосы радиоканала.

Ключевые слова: аппроксимация, дисперсионная характеристика, квазизенитное распространение, радиоканал

Введение. Развитие новых технологий показало, что ВЧ-диапазон может обеспечить непрерывный во времени канал связи на любые дальности, во всех географических регионах земного шара. Данный вид связи обладает уникальными характеристиками благодаря относительно легкой возможности размещения и использования на Земле и в атмосфере мощных передатчиков и независимости от расстояний. Однако этому виду связи присущи недостатки, обусловленные изменчивостью характеристик среды распространения связного радиосигнала – ионосферы Земли. Для уменьшения негативного влияния среды применяется адаптация параметров системы связи к характеристикам среды на основе данных радиозондирования [1-3]. Поэтому развитие методов радиозондирования ионосферных ВЧ-радиоканалов остается актуальной научной проблемой.

Цель работы – разработка методики полиномиальной аппроксимации дисперсионных характеристик ВЧ-радиоканалов для радиолоний протяженностью 40-400 км.

В результате синтеза дисперсионных характеристик методами, описанными в работах [4, 5], были получены дискретные модели регулярной дисперсионной характеристики (ДХ), определяемые множеством точек с координатами (f_j, τ_j) . Для решения поставленной задачи необходимо иметь и непрерывную модель ДХ в полосе частот парциального канала [2].

Для определения непрерывной модели ДХ использовалась аппроксимация дискретных значений искомой функции полиномами Тейлора. В такой постановке важной задачей является исследование минимальной степени полинома Тейлора.

Для ее решения была предложена и использована следующая методика. Искомая функция (за исключением точек разрыва) искалась в виде ее разложения в ряд Тейлора:

$$\tau(f) = \tau_0(f) + 2\pi \tau'(f)F + 2\pi^2 \tau''(f)F^2 + \frac{4\pi^3 \tau'''(f)F^3}{3} + 4\pi^4 \tau^{IV}(f)F^4 \dots,$$

где $F = f - \bar{f}$.

Математические критерии отбрасывания остаточного члена ряда позволяли получить условия линейности, параболичности и кубичности функции $\tau(f)$ в заданной

полосе частот парциального радиоканала. Эти условия выражаются через производные функции $\tau(f)$, получаемые путем численного дифференцирования. Согласно [5] эти условия имеют вид:

$$\frac{\tau''(f)}{6} B^3 \ll 1; \quad (1)$$

$$\frac{\tau'''(f)}{24} B^4 \ll 1; \quad (2)$$

$$\frac{\tau^{IV}(f)}{120} B^5 \ll 1. \quad (3)$$

Здесь учитывалось, что максимальное значение разности частот $(f - \bar{f})$ равно полосе канала B .

На рис.1 представлена ДХ в полосе прозрачности линии связи КЗР. Частота волны из диапазона прозрачности радиолинии представлена здесь в долях критических частот слоев, например, $f = n \cdot f_{kE}$ или $f = m \cdot f_{kF}$, где m и $n \in [0,1]$. На рис. 1 первый индекс (n_1, m_1) относится к частотам из левой окрестности точки разрыва, а второй (m_2) – к правой. Видно, что условия (1) – (3) будут выполняться тем лучше, чем дальше средняя частота канала от точек разрыва ДХ. При этом большая степень полинома имеет место в меньшей окрестности точек разрыва.

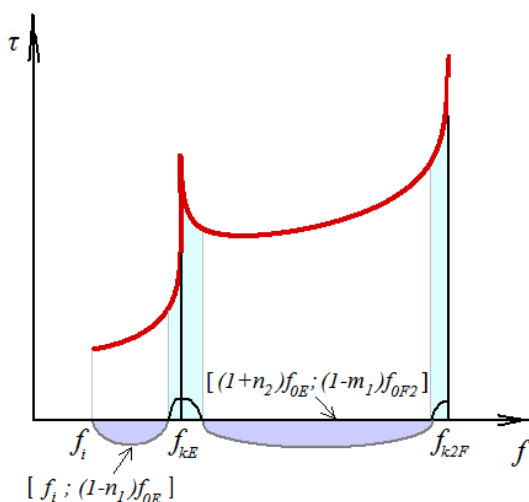


Рис. 1. Синтезированная ДХ обыкновенной компоненты КЗР

Поэтому было предложено за полосу частот линейности, параболичности и кубичности выбирать частоты из полосы НПЧ-МПЧ за исключением окрестности точек разрыва ДХ. Очевидно, что для случая линейной аппроксимации такая окрестность будет больше, чем для параболической или кубической. Таким образом, решение задачи определения диапазонов частот сводится к задаче определения окрестностей точек разрыва или коэффициентов m и n .

Рис. 2 иллюстрирует развитый в работе подход. На нем представлены ДХ обыкновенного луча и ее производные. Опираясь на этот рисунок, сформулируем методику определения окрестностей точек разрыва, за пределами которых возможна аппроксимация ДХ полиномами Тейлора различной степени.

В случае полинома первой степени предложенная методика заключается в следующем:

1. Строится функция $y = \log\left(\frac{\tau''(\hat{f})}{6} B^3\right)$ (где $\hat{f} = f / \text{МПЧ}$ – относительная ча-

стота), используемая в условии линейности ДХ;

2. Находятся значения функции, для которых выполняется условие (1). На рис. 2б это точки функции, расположенные ниже горизонтальной прямой. Точки пересечения графика функции с горизонтальной прямой задают искомые окрестности точек разрыва. Для них определяются значения коэффициентов n_1, n_2, m_1 , при которых возможна аппроксимация ДХ полиномом первой степени.

Методику оценки окрестности точек разрыва, за пределами которых возможна аппроксимация полиномами Тейлора второй и третьей степени, иллюстрируют рис. 2 в, г.

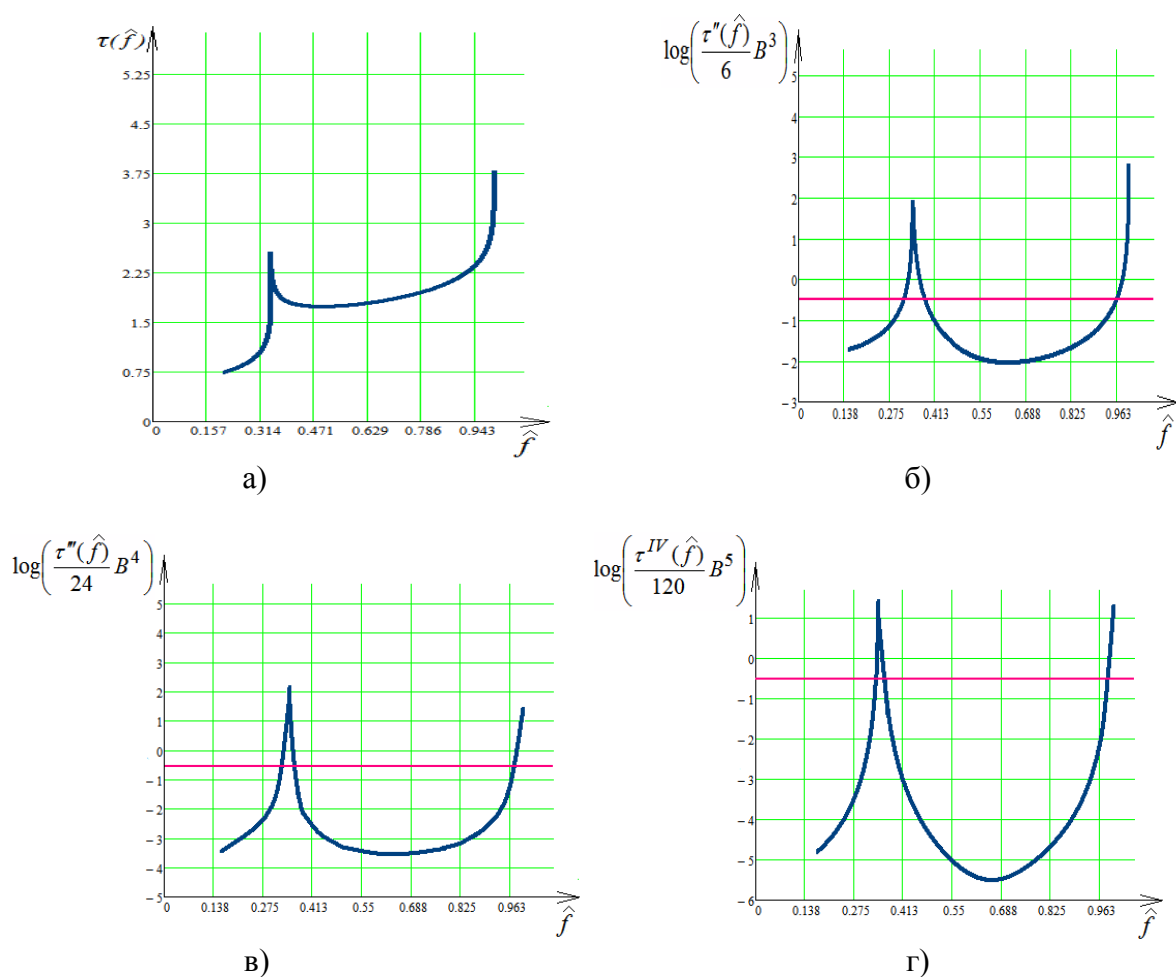


Рис. 2. Определение окрестностей точек, за пределами которых возможна полиномиальная аппроксимация ДХ

Далее в работе были проведены исследования по влиянию на меру окрестностей критических точек суточных и сезонных вариаций ионосферы. В таблице представлены значения коэффициентов n, m, p для различного значения полосы канала B .

Анализируемые дни

Степень поли- нома Полоса канала	1	2	3
50 кГц	$n_1 = 5\%, n_2 = 4\%,$ $m_1 = 2\%$	$n_1 = 2\%, n_2 = 2\%,$ $m_1 = 1\%$	$n_1 = 1\%, n_2 = 1\%,$ $m_1 = 1\%$
100 кГц	$n_1 = 13\%, n_2 = 15\%$ $, m_1 = 7\%$	$n_1 = 8\%, n_2 = 11\%,$ $m_1 = 6\%$	$n_1 = 4\%, n_2 = 6\%,$ $m_1 = 5\%$
200 кГц	$n_1 = 21\%, n_2 = 29\%$ $, m_1 = 15\%$	$n_1 = 16\%, n_2 = 18\%$ $, m_1 = 9\%$	$n_1 = 11\%,$ $n_2 = 12\%,$ $m_1 = 5\%$

Полученные результаты позволяют заключить, что ДХ может быть аппроксимирована полиномом первой степени за пределами окрестности критических точек с мерой 11-15% от значений критических частот ионосферных слоев при любом состоянии ионосферы. Второй степени – за пределами 7-9% окрестности, а третьей степени – за пределами 4-6% окрестности. Таким образом, используемая в работе линейная аппроксимация ДХ, справедлива для достаточно большой области частот из полосы прозрачности радиолинии.

Для среднеширотных радиолиний КЗР известно соотношение, связывающее критические частоты слоев [1]:

$$f_{kx} \approx f_{k0} + f_H/2, \quad (4)$$

где f_{k0} – критическая частота слоя ионосферы (максимальная частота отражения обыкновенной компоненты); f_{kx} – максимальная частота отражения необыкновенной компоненты; $f_H \approx 1,4$ МГц – гирочастота электронов.

Выражение (4) позволяет сделать аналогичный вывод относительно интервальных оценок возможности полиномиальной аппроксимации ДХ необыкновенной компоненты относительно максимальных частот отражения ее от ионосферных слоев. Точные расчеты показали, что результаты мер окрестностей для необыкновенной компоненты отличаются от данных для обыкновенной компоненты не более чем на 7%.

Далее рассмотрим случаи, когда на ионограмме можно четко выделить следы принимаемых мод. Это обычно имеет место при зондировании невозмущенной или слабо возмущенной ионосферы. Учтем, что ДХ моды должна представлять собой достаточно гладкую функцию. Пусть мы имеем дело со случаем, когда принимаемые моды разрешаются, т.е. функции для магнитоионных компонент не перекрываются. Тогда измеряемую в эксперименте функцию $|S(F, \bar{t})|$ можно представить в виде:

$$|S(F, \bar{t})| = \frac{T_\Sigma}{2} \sum_{j=1}^2 H_{0j}(\bar{f}, \bar{t}) \cdot |\sin c[\pi T_\Sigma (F - F_{dj} - F_j)]|. \quad (5)$$

Обычно $F \in [700; 1200]$, поэтому $F \gg F_{dj}$ и формула (5) переписывается в виде:

$$|S(F, \bar{t})| = \frac{T_\Sigma}{2} \sum_{j=1}^2 H_{0j}(\bar{f}, \bar{t}) \cdot |\sin c[\pi T_\Sigma (F - F_j)]|. \quad (6)$$

Видим, что данная функция имеет максимум при $F = F_j(\bar{f}, \bar{t})$. Принимая во внимание равенство $F_j = \dot{f} \cdot \tau_j$, вместо (6) получим:

$$|S(\tau, \bar{t})| = \frac{T_{\Sigma}}{2} \sum_{j=1}^2 H_{0j}(\bar{f}, \bar{t}) \cdot |\sin c[\pi T_{\Sigma} \dot{f}(\tau - \tau_j)]|, \quad (7)$$

где $\tau_j(\bar{f}, \bar{t})$ – групповое запаздывание сигнала, распространяющегося по «о» или «х» траектории.

Дискретное изменение средней частоты канала $\bar{f} = kf_r$ (где $k = 1...K$) будет приводить к дискретному изменению группового запаздывания и такому же изменению положения максимума функции (7). Множество последовательных значений абсциссы максимума будет представлять собой дискретное задание ДХ канала с полосой частот $2B = Kf_r$.

Данные, полученные в натурных экспериментах, обычно «зашумлены» погрешностями. Поэтому для получения аналитических зависимостей ДХ дискретные отсчеты необходимо сглаживать (фильтровать). В работах [2, 3] для этих целей предложено использовать фильтрацию отсчетов полиномами. В данном исследовании также использовалось полиномиальное сглаживание отсчетов ДХ, однако степень полинома выбиралась с учетом КЗР и рекомендаций, описанных выше.

Выводы. Разработана методика полиномиальной аппроксимации дисперсионных характеристик ВЧ-радиоканалов для радиолиний протяженностью 40-400 км. Получены оценки влияния на меру окрестностей критических точек суточных и сезонных вариаций ионосферы, а также полосы радиоканала.

Список литературы

1. Многомерный высокочастотный радиоканал и экспериментальные исследования его основных характеристик / В.А. Иванов [и др.] // Электромагнитные волны и электронные системы. 2013. Т. 18. № 8. С. 40-48.
2. Численные и полунатурные исследования функции рассеяния узкополосных декаметровых радиоканалов / В.А. Иванов [и др.] // Электромагнитные волны и электронные системы. 2009. Т. 14, № 8. С. 46-54.
3. Иванов В.А., Рябова Н.В., Царев И.Е. Диагностика функции рассеяния декаметровых узкополосных стохастических радиоканалов // Радиотехника и электроника. 2009. Т. 55, № 3. С. 3-10.
4. Искажение сложных декаметровых радиосигналов в дисперсных ионосферных радиоканалах при квазизенитном распространении / В.А. Иванов [и др.] // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. Т. 8, № 1. С. 43-53.
5. Исследование регулярной и стохастической дисперсии в ионосферных широкополосных высокочастотных радиоканалах / В.А. Иванов [и др.] // Нелинейный мир. 2012. Т. 10, № 10. С. 678-686.

POLYNOMIAL APPROXIMATION OF THE DISPERSION CHARACTERISTICS OF HF RADIO CHANNEL

Ivanov Vladimir Alekseevich, Ryabova Mariia Igorevna, Shomina Galina Aleksandrovna

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The technique of polynomial approximation of the dispersion characteristics of HF radio for radio link length of 40-400 km is developed. Estimates of the impact of the measure on the neighborhoods of the critical points of diurnal and seasonal variations of the ionosphere and radio bands are obtained.

Keywords: approximation, dispersion characteristic, NVIS propagation, radio channel

УДК 621.396.94

СПОСОБЫ СИНХРОНИЗАЦИИ SDR ИОНОЗОНДА

*Иванов Владимир Алексеевич, Иванов Дмитрий Владимирович,
Чернов Андрей Алексеевич*

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
IvanovVA@volgatech.net

Решалась задача выявления особенностей синхронизации нового сетевого SDR ЛЧМ ионозонда ПГТУ. Установлено, что для обеспечения синхронной работы при решении задач исследования ионосферы достаточно использования упрощенного алгоритма вхождения в синхронизм и поддержания синхронизации, а в режиме частотного обеспечения системы ВЧ-связи необходимо применение алгоритма с адаптацией к меняющимся условиям распространения, что позволяет повысить эффективность работы системы ВЧ-связи за счет сокращения времени зондирования и соответственно увеличения времени нахождения системы ВЧ-связи в эфире.

Ключевые слова: синхронизация, GPS, ГЛОНАСС, наклонное зондирование, ионосфера

Введение. Существующие ионозонды являются эффективными инструментами исследования ионосферы и предназначены для зондирования высокочастотных (ВЧ) радиоканалов связи [1-4]. Зондирование перед сеансом связи позволяет извлечь из принимаемого сигнала информацию о состоянии ионосферной радиолинии и адаптировать информационно-технические характеристики системы на актуальные значения.

Ранее было установлено, что для решения задач зондирования наилучшим образом подходят непрерывные сигналы с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ), обладающие сверхбольшой базой. За счет поэлементного сжатия в частотной области они обеспечивают значительное снижение отношения сигнал/шум.

В настоящее время в организации современных систем ВЧ-связи требуется создание автоматических, автономных, малогабаритных систем радиозондирования. Однако в этом случае актуальной остается научная задача обеспечения синхронной работы приемного и передающего терминалов сетевой системы зондирования. Анализ показывает, что решение задачи требует проведения теоретических и экспериментальных исследований для выделения особенностей синхронизации с учетом ее специфики. Таким образом, целью работы является анализ и выявление особенностей синхронизации нового SDR ЛЧМ-ионозонда.

Цель работы – исследование способов синхронизации SDR ЛЧМ-ионозонда.

Синхронизация SDR ЛЧМ-ионозонда для исследований ионосферы. Известно [5], что средняя задержка в ионосферном канале испытывает вариации в зависимости от протяженности радиолинии и геофизических условий и может достигать значений до 50 мс. Поэтому основная особенность синхронизации в задачах исследования ионосферы заключается в минимизации области априорной неопределенности средней задержки сигнала и рассеяния по задержке в многомерном радиоканале, что было реализовано в ранее разработанных алгоритмах [6]. В этом случае процедура вхождения в синхронизм предполагает сведение шкал времени (ШВ) всех терминалов сетевой системы зондирования. Шкала времени обеспечивает синхронную работу устройств в медленном времени, а тактовая частота – в основном в быстром. В настоящее время для сведения ШВ и тактовых частот с высокой точностью обычно применяют техно-

логии ГЛОНАСС или GPS, для чего разработаны соответствующие устройства. Использование данного подхода в ЛЧМ-ионозонде ПГТУ (прошлого поколения) было описано ранее [6,7 и др.].

Рассмотрим вопрос задания режима синхронизированного зондирования в новом SDR ЛЧМ-ионозонде. Для этого обратимся к линейному закону изменения частоты непрерывного ЛЧМ-сигнала и параметру, называемому «chirp time», который устанавливает взаимно-однозначное соответствие между временем и частотой, то есть позволяет по заданному времени определить соответствующую частоту и, наоборот, по заданной частоте определить время, когда она достигается [1].

Применение «chirp-time» особенно удобно, когда один SDR ЛЧМ-передатчик обеспечивает работу сети SDR приемников, находящихся на различных расстояниях D_R (где $R=1,2,3,\dots$) от него. В этом случае приемнику следует включаться в режим приема непрерывного ЛЧМ-сигнала лишь когда его частота попадает в интервал от $f_m = \text{НПЧ}(D_R)$ до $f_M = \text{МПЧ}(D_R)$. Это будет происходить в моменты времени

$$t_{m,M} = \frac{f_{m,M}(D_R)}{\dot{f}} + t_0, \quad (1)$$

где $f_{m,M}(D_R)$ означает, что НПЧ и МПЧ радиотрассы зависит от ее протяженности D_R .

Данные обстоятельства были учтены нами при реализации алгоритма вхождения в синхронизм в SDR ЛЧМ-ионозонде [7-9], когда вначале, используя возможности систем ГЛОНАСС/GPS, сводятся шкалы времени всех терминалов системы зондирования, затем по координатам расположения (от ГЛОНАСС или GPS) передающего и приемного терминалов определяется длина исследуемой трассы и находятся координаты ее контрольной точки зондирования (КТЗ). В КТЗ задаются солнечная активность, сезон, время суток и с помощью модели IRI находятся для них профили электронной концентрации в многослойном квазипараболическом приближении и рассчитываются ионограммы наклонного зондирования. По ионограммам определяются параметры временного интервала работы приемника в режиме ЛЧМ зондирования, рассчитывается интегральный профиль задержки для оценки средней задержки и интервалов задержки в многомерном ВЧ-радиоканале. Далее по ним вычисляются соответствующие параметры в разностной частоте, а полученные значения передаются в программу управления работой ЛЧМ-ионозонда и в соответствии с полученными значениями и расписанием осуществляется зондирование. Поддержание синхронизации в таком режиме сводится к согласованию тактовых частот с использованием термостатированных кварцевых генераторов или для повышения точности измерений – рубидиевых.

Синхронизация SDR ЛЧМ-ионозонда в режиме частотного обеспечения систем ВЧ-связи. Сетевой ЛЧМ-ионозонд ПГТУ [9] (рис. 1), построенный по принципу «АЦП к антенне» на платформе USRP (SDR приемопередатчик USRP N210 с дочерними платами LFRX и LFTX) компании Ettus Research, может функционировать и в режиме частотного обеспечения системы ВЧ-связи и включает в себя кроме USRP – устройство частотно-временной синхронизации NAVIOR-T CH-3833 (либо рубидиевый стандарт частоты – Pendulum GPS-12RG) с ГЛОНАСС/GPS антенной, КВ-антенну, персональный компьютер (ПК) с ОС Ubuntu Linux, свободное программное обеспечение «GNU Radio», и специализированное авторское программное обеспечение, осуществляющее вторичную обработку, постанализ ионограмм из базы данных, и выполняющее для удаленных стационарных и мобильных клиентов функции сервера.

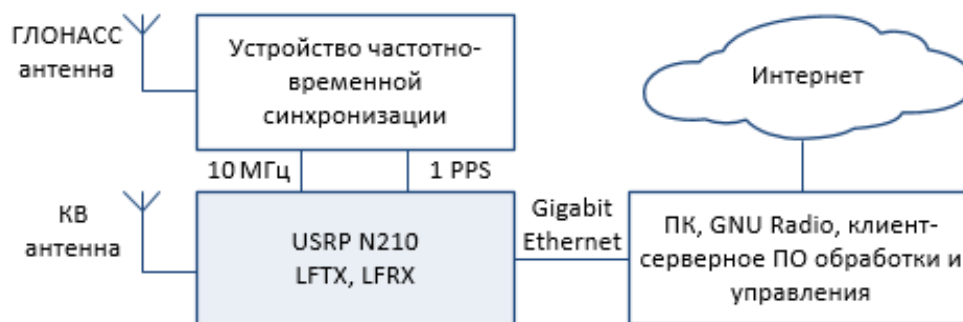


Рис. 1. Блок-схема терминала сетевого ЛЧМ-ионозонда на базе USRP N210

Особенность синхронизации в режиме частотного обеспечения заключается в необходимости сокращения времени работы системы зондирования с целью максимизации доступного времени работы системы ВЧ-связи в эфире. Потребность в периодическом зондировании связана с деградацией параметров многомерного ионосферного радиоканала из-за медленных изменений характеристик среды (ионосферы). Для этого в новом SDR ЛЧМ-ионозонде предусмотрен адаптивный алгоритм поддержания синхронизма, заключающийся в согласовании параметров ионозонда с параметрами ионосферного радиоканала, актуализирующимися после очередного сеанса зондирования (рис. 2). Отдельный программный модуль осуществляет расчет радиотехнических параметров радиолинии, необходимых для поддержания синхронизации, в том числе расчет профиля общей энергии импульсной характеристики многомерного ионосферного ВЧ-радиоканала для оценки определения полосы прозрачности (МПЧ-НПЧ) и интегрального ПЗМ.

Далее с учётом обновленных параметров корректируется работа приёмной части ионозонда и системы ВЧ-связи:

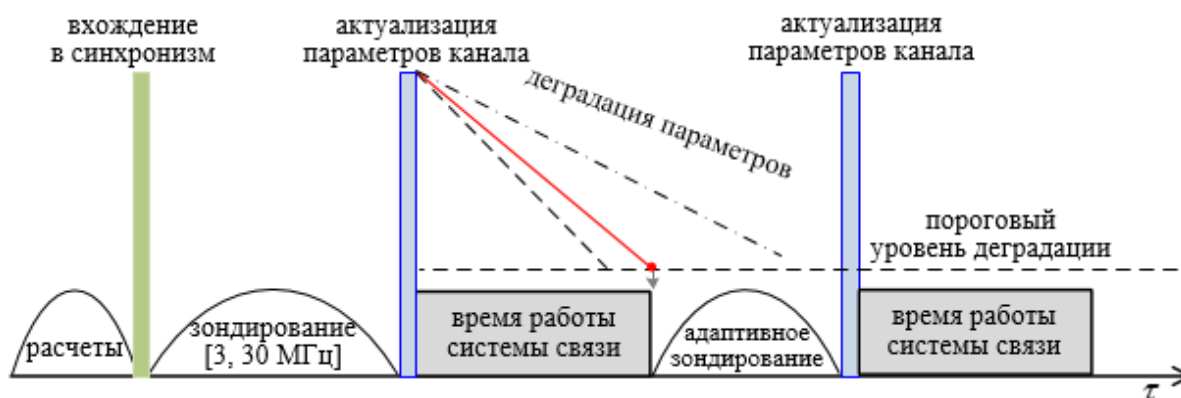


Рис. 2. Поддержание синхронизации SDR ЛЧМ-ионозонда в режиме частотного обеспечения ВЧ-связи

Для оценки влияния вариаций уровня геомагнитной активности и геофизических условий на значения параметров синхронизации были проведены вычислительные и натурные эксперименты на трассах г. Иркутск – г. Йошкар-Ола (3500 км), о. Кипр – г. Йошкар-Ола (2620 км), оз. Яльчик – г. Йошкар-Ола (72 км). С использованием разработанного программного обеспечения с гибконастраиваемым комплексным алгоритмом очистки для соответствующих условий проведения эксперимента были построены суточные ходы ПЗМ и профилей общей энергии импульсных характеристик. В ПО реализована возможность настройки алгоритмов как по последовательности

применяемых методов очистки, так и по установке их параметров [8, 10]. На рис. 3 представлен пример полученных суточных ходов для радиолинии г. Иркутск – г. Йошкар-Ола (а – ПЗМ, б – профиля общей энергии импульсной характеристики).

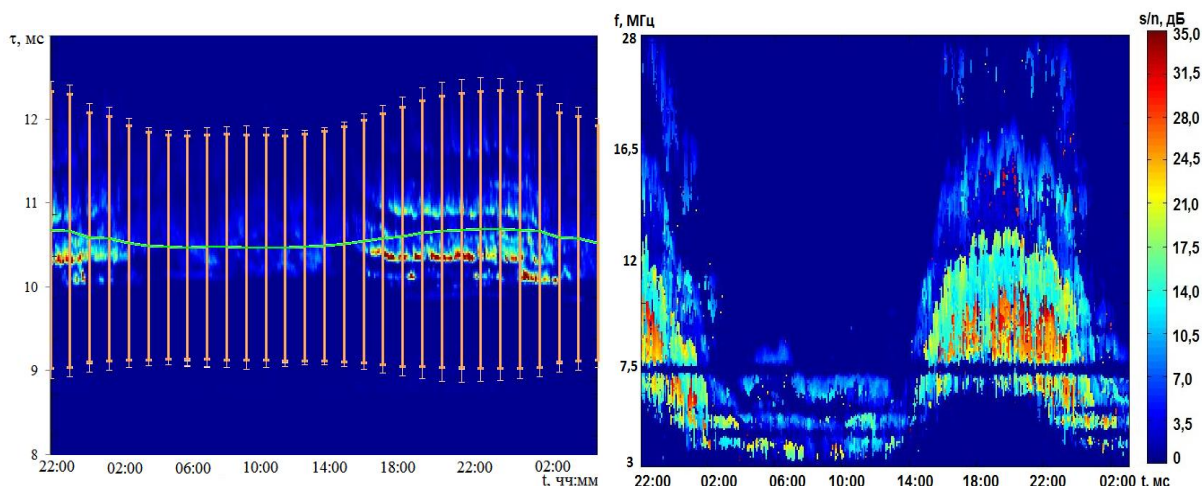


Рис. 3. Вариации параметров синхронизации на радиолинии г. Иркутск – г. Йошкар-Ола в январе 2012 г.

Выводы. В результате проведенного анализа особенностей синхронизации нового сетевого SDR ЛЧМ-ионозонда ПГТУ было установлено, что для обеспечения синхронной работы в задачах исследования ионосферы, достаточным является использование разработанных ранее алгоритма вхождения в синхронизм и упрощенного алгоритма поддержания синхронизации, а в режиме частотного обеспечения системы ВЧ-связи необходимо применение алгоритма с адаптацией к меняющимся условиям распространения. Разработанные алгоритмы и программное обеспечение нового SDR ЛЧМ-ионозонда позволяют повысить эффективность работы радиотехнических систем ВЧ-радиосвязи путем сокращения от 10 до 80% времени работы подсистемы радиозондирования многомерных высокочастотных радиоканалов и соответственно увеличения времени нахождения системы ВЧ-связи в эфире.

Список литературы

1. ЛЧМ-ионозонд и его применение в ионосферных исследованиях / В.А. Иванов [и др.] // Изв. вузов. Радиофизика. 2003. Т. 47, № 11. С. 919-952.
2. Исследование особенностей распространения коротких радиоволн в неоднородной анизотропной ионосфере / А.С. Крюковский [и др.] // Электромагнитные волны и электронные системы. 2009. Т. 14, № 8. С. 17-26.
3. Иванов В.А., Иванов Д.В., Рябова Н.В. Зондирование ионосферы и декаметровых каналов связи сложными радиосигналами // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. № 1. С. 3-37.
4. Ионосферный стохастический ВЧ-радиоканал: теория, моделирование, эксперимент / Н.Н. Зернов [и др.] // XXIII Всероссийская научная конференция Распространение радиоволн. 2011. Т. 1. С. 85-98.
5. Иванов В.А., Рябова Н.В., Чернов А.А. Исследование времени распространения ВЧ-сигналов в ионосфере в задаче синхронизации // Сб. трудов междунар. семинара «Синхроинфо 2012». Москва, 2012. С. 119-121.
6. Иванов В.А., Чернов А.А. Развитие теории синхронизации РТС декаметровой связи и панорамного зондирования ионосферы // Телекоммуникации. Москва, 2012. № 2. С. 16-23.

7. Чернов А.А. Обобщенный алгоритм синхронизации терминалов ЛЧМ-ионозонда // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. Йошкар-Ола, 2013. № 1 (17). С. 13-23.

8. Чернов А.А. Разработка и исследование алгоритмов автоматической синхронизации комплексов панорамного радиозондирования ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом: дис. ... канд. тех. наук: 05.12.04, 05.12.13: защищена 02.07.13: утв. 21.10.13. Владимир, 2002. 159 с.

9. SDR-ионозонд с непрерывным ЛЧМ-сигналом на платформе USRP / Д.В. Иванов [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2013. № 3. С. 80-94.

10. Информационно-аналитическая система для исследования ионосферы и каналов декаметровый радиосвязи: монография / Д.В. Иванов [и др.]. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. 256 с.

METHODS OF SYNCHRONIZATION OF SDR CHIRP SOUNDER

Ivanov Vladimir Alekseevich, Ivanov Dmitrii Vladimirovich, Chernov Andrei Alekseevich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

We solved the problem of identifying features of synchronization of the VSTU new network based SDR chirp sounder. We found that to ensure synchronous operation in research of problems of the ionosphere, it is sufficient to use a simplified algorithm acquisition and maintenance of synchronization, and as frequency HF communication system software necessary to use the adaptation algorithm to the changing conditions of propagation, which improves the efficiency of the HF system communication by reducing the time sensing and accordingly extend the time of HF communication system on the air.

Keywords: *synchronization, GPS, GLONASS, oblique sounding, ionosphere*

УДК 502.1

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В БОТАНИЧЕСКОМ САДУ ПГТУ

Лаврентьев Борис Федорович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
Lavrentevbf@volgatech.net

Описывается информационно-измерительный комплекс для мониторинга параметров окружающей среды, установленный в 2008 году в ботаническом саду ПГТУ. Достоинством комплекса является его универсальность, возможность изменения структуры, многофункциональность, что достигается использованием современных микропроцессорных и компьютерных технологий. Приводятся результаты измерений параметров окружающей среды в 2008-2012 годах.

Ключевые слова: *информационно-измерительный комплекс, измерения, датчики, температура, влажность, давление, скорость ветра, газовый состав атмосферы, база данных, устройство обработки информации, метеоплощадка, прогнозирование*

Введение. Возрастающее воздействие антропогенных факторов на биосферу земли привело к возникновению глобальных экологических проблем (парниковый эф-

фект, кислотные дожди, обезлесивание, опустынивание, загрязнение среды, обеднение генофонда и т.д.). Негативные результаты антропогенных воздействий не являются неизбежным следствием развития человеческого общества, а связаны с ошибками в технической и экологической политике, недостаточным уровнем технического развития и отсутствием фундаментальных знаний закономерностей, существующих в реальном мире.

В сложившейся ситуации одной из важнейших задач современности является организация контроля состояния природной среды, ее непрерывных изменений и прогнозирование этих изменений. Контроль необходим как за естественными изменениями состояния окружающей природной среды, так и за изменениями, которые вызываются антропогенными воздействиями. Для непрерывного контроля за состоянием биосферы с целью своевременного предотвращения негативных последствий антропогенной деятельности необходима хорошо налаженная структура экологического мониторинга, которая, помимо организационных компонентов, должна опираться на развитую техническую базу. Для получения исчерпывающей информации о состоянии экосистем и ее интерпретации необходима организация длительных измерений параметров окружающей среды с применением информационно-измерительных систем и комплексов и современных компьютерных технологий. В создании средств исследования экосистем должны принимать активное участие высококвалифицированные специалисты по электронике, биологии, экологии, компьютерным технологиям и т.п.

Сегодня почти во всех вузах или факультетах лесного профиля имеются учебно-опытные лесхозы и ботанические сады, где сосредоточены многочисленные учебные и научные натурные объекты. Там проводится научная, учебная и хозяйственная деятельность. При выполнении таких работ необходимо организовать длительные измерения параметров окружающей среды и биологических объектов с целью исследования зависимостей между ними. В настоящее время в нашей стране и за рубежом существуют различные метеорологические станции с автоматическими и полуавтоматическими режимами работы, существуют приборы для определения отдельных параметров среды, например, температуры, давления, влажности, солнечной радиации и т.д. Общими для всех этих приборов являются большая стоимость и сложность обслуживания.

Цель работы – создание методик, средств и программного обеспечения для фундаментальных исследований экосистем при решении конкретных задач по диагностике жизнеспособности и продуктивности растений. Главным фактором при таких исследованиях являются длительные (многолетние) измерения параметров биологических объектов в реальных условиях и исследование зависимостей этих параметров от параметров окружающей среды с целью их анализа и выявления неизвестных закономерностей в экосистемах растений.

Решаемые задачи: провести информационный поиск по проекту и спроектировать и изготовить информационно-измерительный комплекс (ИИК), предназначенный для исследования экосистем, в том числе и лесных экосистем.

В состав ИИК входят: информационно-измерительный комплекс для мониторинга параметров окружающей среды, таких как: температура воздуха; влажность воздуха; температурный профиль почвы в восьми точках до глубины 200 см; давление атмосферы, скорость и направление ветра, уровень солнечной радиации в трех диапазонах, газовый состав атмосферы, наличие вредных примесей и специальные локальные ИИС для мониторинга биопараметров экосистем.

Результаты работы. В настоящее время за счет средств гранта РФФИ выполнен первый этап работ по проекту, а именно: разработана, изготовлена и внедрена первая очередь ИИК для мониторинга параметров окружающей среды в ботаническом саду ПГТУ и получены результаты измерений за период 2008-2012 гг.

Основные технические параметры ИИК:

измеряемые параметры:

- температура воздуха, °С.....-50- +50
- температура почвы на глубинах 0, 10, 20, 30, 40, 60, 100, 150, °-50-50
- влажность воздуха, W % 30-95
- атмосферное давление, мм.рт.ст 300-800
- скорость ветра, м/с 0-50
- направление ветра.....0-360

автономность работы, ч неограниченна

потребляемая мощность, Вт. не более.....200

источники питания сеть ~220° С 50 Гц и аккумуляторы;

режим работы..... автоматический

Планируется в дальнейшем увеличение измерительных каналов до 32-48, а именно ввести: измерение количества осадков; измерение солнечной радиации в трех диапазонах; измерение газового состава воздушной среды; измерение загрязнений воздушной среды и т.д.

Также планируется разработать и изготовить 3-5 информационно-измерительных систем для мониторинга биофизических параметров растений (тепловых, потенциальных, омических полей и т.д.)

Упрощенная структурная схема ИИК приведена на рис. 1.

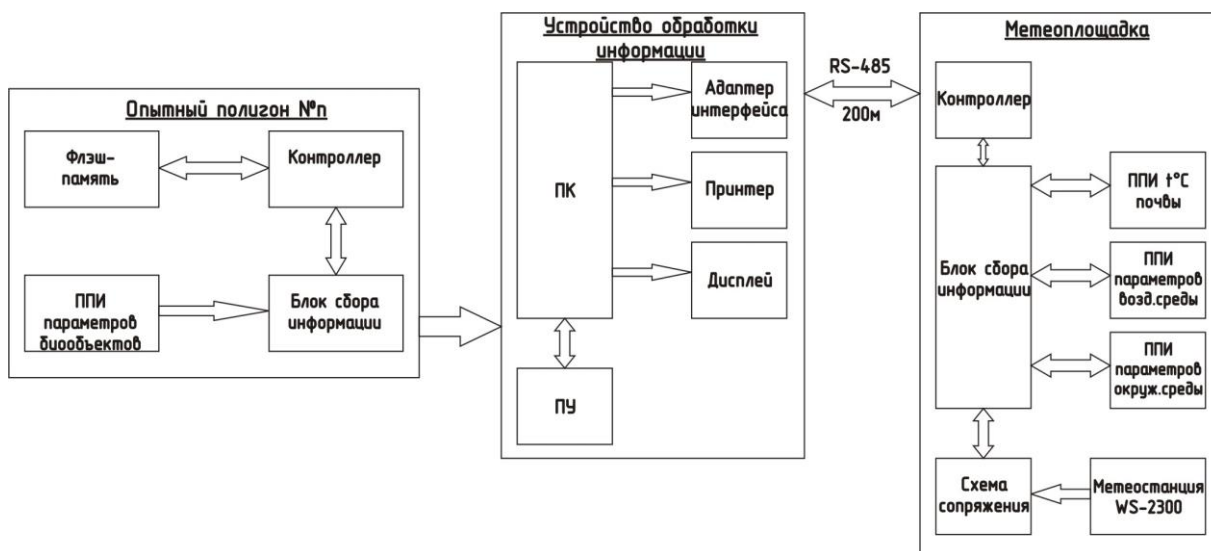


Рис. 1. Упрощенная структурная схема ИИК

Устройство обработки информации размещается в административном здании ботанического сада ПГТУ и включает в себя персональный компьютер (ПК), клавиатуру, дисплей, принтер, адаптер интерфейса.

Метеоплощадка располагается на расстоянии 200 м от административного здания. Первичные преобразователи информации (ППИ) располагаются в пределах метеоплощадки. На метеоплощадке размещаются блоки сбора информации, содержащие

аналого-цифровые преобразователи (АЦП), адаптеры интерфейсов RS – 485 и RS – 232 и микропроцессорный контроллер с программным управлением.

В процессе проектирования ИИК сформулированы основные алгоритмы оптимизации структуры комплекса с целью получения приемлемых решений в зависимости от поставленных задач. Произведен анализ и даны рекомендации по применению в ИИК современных первичных преобразователей информации с целью уменьшения погрешностей измерений [1, 2].

Важнейшей задачей при проектировании ИИК является организация информационных потоков между устройством обработки информации и метеоплощадкой. Из стандартных последовательных интерфейсов в разрабатываемой аппаратуре использован интерфейс RS – 232C и интерфейс RS – 485. Первый используется для организации информационных потоков в пределах метеоплощадки, а второй – для организации информационных потоков между устройством обработки информации и метеоплощадкой. Это объясняется реальными расстояниями между объектами.

В качестве источника метеопараметров применяется типовая метеостанция WS-2300, обмен информацией с которой выполняется по интерфейсу RS-232C.

Комбинированная метеостанция WS-2300 соответствует самым высоким требованиям. Используется для измерения температуры, влажности, скорости и направления ветра, осадков, давления. Внешние датчики по проводам передают результаты измерений на транслятор, который по радиоканалу (433 МГц) передает эти данные на головной блок метеостанции. При необходимости можно соединить транслятор с метеостанцией при помощи кабеля. В этом случае датчики не требуют отдельного питания. Используя интерфейсный кабель и программное обеспечение, можно передавать результаты измерений в персональный компьютер. Для согласования работы метеостанции с процессором разработан специальный микропроцессорный модуль с программным обеспечением.

Разрабатываемый комплекс функционирует круглогодично и обеспечивает длительные синхронные измерения и регистрацию параметров окружающей среды, в том числе измерения температурного профиля почвы в 8 точках и метеопараметров с привязкой их к временным и пространственным координатам.

Важным преимуществом разрабатываемого комплекса является его универсальность, возможность параллельного решения большого количества задач и увеличение числа измерительных каналов при небольшой стоимости комплекса

Экспериментальные исследования. Созданный информационно-измерительный комплекс был установлен в ботаническом саду ПГТУ и работает в режиме измерения 14 параметров окружающей среды. Замеры производятся с периодом в 3 часа в автоматическом режиме. Измеренные параметры заносятся в базу данных ПЭВМ с привязкой к временным меткам, что позволяет строить временные зависимости отдельных параметров. Ежедневно производится более ста измерений. Одновременно вычисляются средние значения параметров, а также максимальная и минимальная температура воздуха за сутки и глубина промерзания почвы.

Информация, собранная за сутки, оформляется в виде бюллетеня. В табл. 2 и 3 приведены примеры бюллетеней метеоданных.

Созданные базы данных с привязкой к временным меткам позволяют наглядно представить зависимости отдельных параметров окружающей среды от времени или зависимости биопараметров растений от параметров окружающей среды. На рис. 2-7 приведены зависимости параметров окружающей среды от времени за зимне-осенний период 2008 года.

Таблица 2

Бюллетень метеоданных 24.01.2008

Параметры	Время отсчета t (час)								Среднее значение
	0	3	6	9	12	15	18	21	
Температура T1, H=2м, С°	-4.1	-4.7	-5.9	-6.4	-6.2	-6.2	-7.2	-7.6	-6.0
Температура T2, H=0м, С°	-2.20	-2.20	-2.18	-2.19	-2.20	-2.21	-2.20	-2.20	-2.20
Влажность W, %	89	89	88	88	88	88	88	88	88.3
Давление D, мм.рт.ст.	749.4	749.7	750.2	750.9	751.6	752.1	752.5	752.8	751.2
Скорость ветра, м/с	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Направление ветра f, °	45.0	135.0	90.0	90.0	90.0	45.0	22.5	45.0	70.3
Мин. температура Tmin, С°	-8.7	наблюдалась в 23:57:04							
Макс. температура Tmax, С°	-4.1	наблюдалась в 00:07:05							

Таблица 3

Бюллетень метеоданных 24.01.2010

Дата: 24.1.2010	Время: 12:06:23									
Глубина H, см	0	10	15	20	30	40	60	110	160	190
Температура T3, С°	-2.21	-0.92	-0.72	-0.40	-0.16	0.02	1.05	1.54	3.10	3.93
Глубина промерзания H, см	40.00									

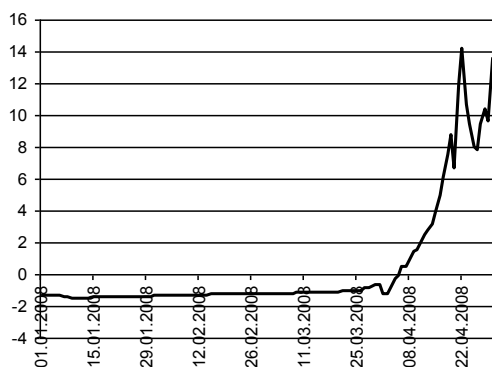


Рис. 2. Среднесуточная температура воздуха на высоте 0 м

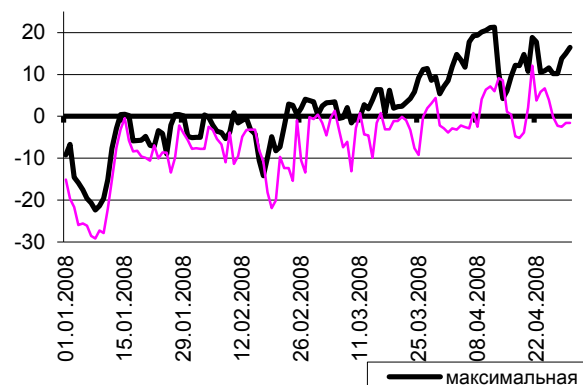


Рис. 3. Среднесуточная температура воздуха на высоте 2 м

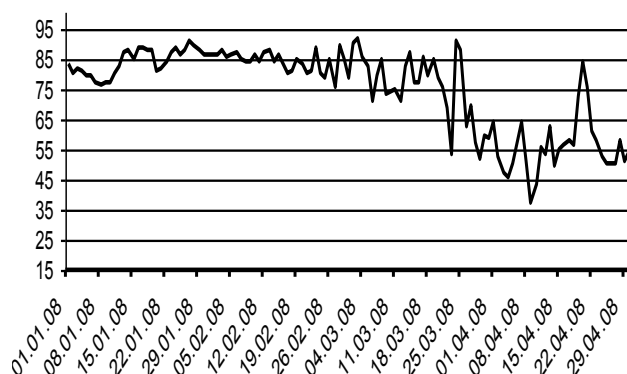


Рис. 4. Среднесуточная влажность воздуха на высоте 2 м, % (январь - апрель 2008 г.)

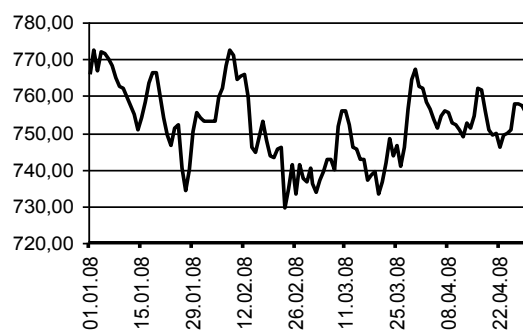


Рис. 5. Среднесуточное атмосферное давление на высоте 2 м, мм.рт.ст.

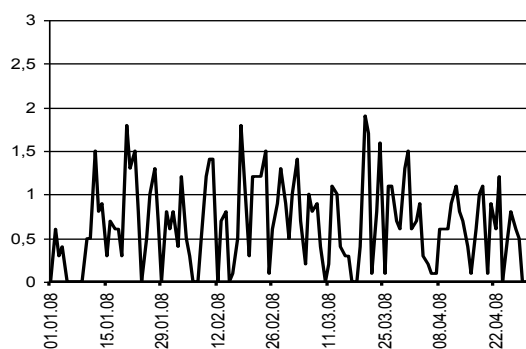


Рис. 6. Среднесуточные изменения скорости ветра

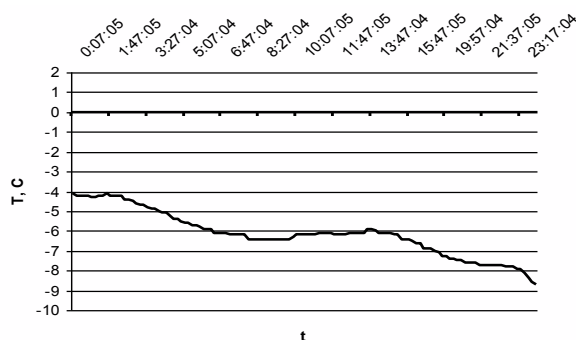


Рис. 7. Суточные изменения температуры

Результаты мониторинга параметров окружающей среды. Из приведенных выше графиков видно, что зимний период 2007-2008 гг. не отличался длительными низкими температурами. Средняя температура января составила $-10,2^{\circ}\text{C}$, февраля – $-5,16^{\circ}\text{C}$, марта $+0,86^{\circ}\text{C}$, апреля – $+7,07^{\circ}\text{C}$. За весь период измерений самая низкая температура $-29,2^{\circ}\text{C}$ была зафиксирована 8.01.2008 г. в 8 часов 36 минут и -23°C 18.02.2008 г. в 7 часов 36 минут. Влажность воздуха в январе-феврале составила 84%, в марте-апреле – 66%, а атмосферное давление соответственно 755 и 748 мм р. ст.

Приведенные выше графики содержат большое количество информации и представляют интерес с точки зрения определения особенностей зимне-весеннего периода 2007-2008 года и влияние его на состояние биологических объектов. Полученные результаты мониторинга параметров окружающей среды отражают их качественную картину за длительный период времени.

Выводы. Представленная работа отражает результаты первого этапа проекта по созданию ИИК для исследования лесных экосистем. Результаты эксплуатации комплекса показывают её высокую эффективность и надёжность в работе.

Выполнение второго этапа работ по проекту позволит выявить новые, неизвестные закономерности в биологических экосистемах.

Список литературы

1. Лаврентьев Б.Ф. Информационно-вычислительный комплекс для фундаментальных исследований физиологии лесных экосистем // VII Международная научно-техническая конференция «Кибернетика и высокие технологии XXI века: сборник докладов конференции. Воронеж: НПФ «Саквое», 2006. С. 568-575.
2. Лаврентьев Б.Ф. Адаптивный информационно-вычислительный комплекс мониторинга локальных экосистем леса // Экология и рациональное природопользование / Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб., 2005. 245 с. (Записки Горного института. Т.166).

THE INFORMATIVE MEASURING COMPLEX FOR MONITORING OF PARAMETERS OF THE ENVIRONMENT IN BOTANICAL GARDEN OF MARSTU

Lavrentev Boris Fedorovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

In the article the informative measuring complex for monitoring of parameters of the environment, established in 2008 in Botanical Garden Mary State University is described. Advantage of a complex is its universality, an opportunity of change of structure, multifunctionality that is achieved by use of modern microprocessor and computer technologies. Results of measurements of parameters of the environment in 2008 year are resulted and recommendations for work in 2008-2012 are formulated.

Keywords: the informative measuring complex, measurements, sensors, temperature, humidity, pressure, wind speed, gas structure of the atmosphere, database, information processing device, meteoplatform, forecasting

УДК 621

ИНФОРМАЦИОННЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ КАК СРЕДСТВО РАЗНОСТОРОННЕГО РАЗВИТИЯ ДЕТЕЙ

Лаврентьев Борис Федорович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
Lavrentevbf@volgatech.net

Рассматриваются вопросы создания простых, дешевых и высокоэффективных робототехнических конструкций, выполненных в виде сказочных и былинных героев, и использование их в детских дошкольных, культурных и лечебных учреждениях с целью всестороннего развития детей.

Ключевые слова: дети, развитие, воспитание, сказочные герои, робототехнические конструкции, автоматическое управление, радиоканал, моделирование, сказки

Введение. Использование электронных робототехнических конструкций, выполненных в виде сказочных, былинных и национальных героев, в сочетании с архитектурными и природными ландшафтами при использовании их в детских оздоровительных, культурных и лечебных учреждениях позволяет повысить эффективность лечения, снять психологическое напряжение и способствует разностороннему воспитанию детей. С другой стороны, подобные конструкции, несомненно, найдут применение в развлекательных, торговых и рекламных мероприятиях.

Вопросам создания автоматизированных электронных средств психолого-эмоционального воздействия на людей в настоящее время уделяется большое внимание. За рубежом существует большое количество высокоинтеллектуальных робототехнических конструкций для зон отдыха, парков, культурных заведений. Ближайший центр создания аппаратуры для развлекательных центров находится в Минске, однако его продукция отличается высокой стоимостью и, на наш взгляд, мало соответствует задачам воспитания детей.

В нашей стране работы по созданию робототехнических конструкций практически не ведутся. Патентный поиск, проведенный по данной тематике, показал, что имеется целый ряд патентов на различные технические решения, но они, как правило, носят разрозненный характер и не связаны с созданием конкретных объектов для детей.

Без координационных программ и целевого финансирования вести такие работы затруднительно, т.к. изготовление одиночных макетов экономически невыгодно, ввиду того, что большая часть средств уходит на проектирование объектов и создание базы для их изготовления. Необходимо иметь организацию, которая бы разрабатывала новые, модернизировала существующие конструкции, создавала соответствующие каталоги изделий и организовала производство и реализацию продукции. Такая организация могла бы быть создана в Республике Марий Эл на базе Поволжского государственного технологического университета.

В последние годы в Поволжском государственном технологическом университете были разработаны информационные робототехнические конструкции различного предназначения в виде «Крокодила Гены и Чебурашки», «Попугая», «Декоративных часов с движущейся фигурой Буратино», «Говорящих урн» и т.д.

Цель работы – создание информационных робототехнических конструкций и методик по их применению и исследование их воздействия на всестороннее развитие детей в дошкольных, культурных, оздоровительных и лечебных центрах.

Решаемые задачи: информационный поиск робототехнических конструкций для детских дошкольных, лечебных и культурных учреждений и создание высокоэффективных, недорогих роботов для всестороннего развития детей.

Результаты работы. В настоящее время сотрудниками и студентами ПГТУ и сотрудниками Республиканского театра кукол выполнены эскизные проекты на целый ряд робототехнических сказочных героев. Нами введено понятие информационные робототехнические конструкции, в которых нет элементов искусственного интеллекта, однако они обладают большими информационными ресурсами и художественными формами, что более важно для восприятия детьми [1, 3], а также отличаются небольшой стоимостью.

Робототехнические герои «работают» по заданному сценарию, включая движение головы, рук, глаз, рта; ведут в диалоге беседу с окружающими, дают пояснения к мероприятиям, на которых присутствуют. Управление роботами может осуществляться по внутренней компьютерной программе или внешне – по радиоканалу. В проекте заложены современная элементная база, технологии и недорогие комплектующие.

Созданные в рамках настоящего проекта информационные робототехнические конструкции имеют явные преимущества перед существующими робототехническими конструкциями с элементами искусственного интеллекта, а именно:

- их стоимость в 50-100 меньше;
- их можно изготовить из существующих комплектующих: радиотелефонов, контроллеров;
- они имеют хорошие эксплуатационные характеристики, просты в эксплуатации и безопасны для детей;
- можно легко наладить их серийное производство и реализацию с большим экономическим эффектом.

Сказочных героев можно установить в яслях, садах, детских больницах, в культурных и оздоровительных центрах, где они будут рассказывать сказки, учить детей правилам хорошего тона, способствуя их всестороннему развитию. В яслях и детских садах это могут быть «сказочники», «смехошарики», в детских больницах – «айболиты», «медицинские сестры» и т.д.

Робототехнические конструкции типа «Кот в сапогах», «Медведь», «Снегурочка», «Акпарс» можно установить в вестибюле культурных центров, где они будут приветствовать входящих, снимать шляпу, говорить комплименты, создавая доброе настроение.

Информационные робототехнические конструкции могут быть экскурсоводами и гидами на выставках и презентациях.

Сказочные герои большого размера в праздничные дни могут устанавливаться на площадях, в парках, на концертных площадках и участвовать в праздничных мероприятиях – это значительно снизит расходы на проведение таких мероприятий и повысит эмоциональное воздействие на зрителей.

На сегодняшний день в рамках госбюджетных НИР университета разработаны эскизные проекты для пяти изделий: «Попугай», «Кот в сапогах», «Крокодил Гена и Чебурашка», «Смехошарик» и др.; разработаны и отмакетированы электрические схемы на устройство управления объектами, определены принципы создания радиоканала и канала видеонаблюдения, выбраны технологические принципы изготовления корпусов роботов с минимальной стоимостью изготовления, разработаны программы функционирования объектов и многое другое. Значительное внимание было уделено вопросам безопасности детей. На рис. 1 приведены робототехнические фигуры «Кота в сапогах» и «Попугая», которые предполагается установить в здании нового кукольного театра, строящемся в Йошкар-Оле.



Рис. 1. Фигуры роботов

Роботы выполняют 6-12 команд, двигают руками, поворачивают голову налево и направо, наклоняются, «моргают», «говорят» с движением губ, могут индивидуально общаться с маленькими зрителями, а кроме того, некоторые роботы могут передвигаться и выполнять другие операции.

Функционирование роботов возможно в трех режимах :

- *внутреннее программное управление;*
- *внешнее управление по радиоканалу;*
- *комбинированное управление.*

В первом режиме функционирование работа производится по компьютерной программе, заложенной в памяти робота с использованием внешних датчиков, например, датчиков присутствия. Робот приветствует присутствующих, встречает гостей, снимает шляпу, говорит комплименты, работает гидом, рассказывает сказки детям, ведет воспитательную работу и т.д. При этом он двигается, поворачивает голову к собеседнику, моргает, имитирует разговор, выражает эмоции.

Во втором режиме управление роботом осуществляется с помощью оператора, который находится в отдельном помещении на расстоянии 15–20 м и видит обстановку вблизи робота. Управление производится по радиоканалу. В качестве радиоканала используется обычный радиотелефон. Таким образом, робот как бы оживает и вступает в диалог с окружающими с помощью оператора. Именно этот режим интересен и привлекателен для детей, особенно в диалоговом режиме.

Третий режим включает первый и второй режимы и является более перспективным. Наиболее важный этап работы – создание оптимальной компьютерной программы для записи в постоянную память робота.

В процессе выполнения проекта использовались компьютерные технологии автоматизированного проектирования при создании электронных блоков управления, разработана техническая и эксплуатационная документация. Поэтому если организовать серийное производство таких изделий, то оно будет рентабельно, тем более, что отсутствует конкуренция в стране.

Технология изготовления корпусов фигур хорошо отлажена в кукольных театрах, на производстве игрушек, и их можно заказать в виде серийных поставок с небольшой стоимостью. Блоки электронного управления предполагается сделать также универ-

сальными для всех объектов, что, с одной стороны, повысит надежность изделий, а с другой – значительно снизит их стоимость.

Конструктивно робототехническая конструкция представляет собой постамент, на котором крепится фигура робота. Внутри постамента устанавливаются блок управления и аккумулятор с блоком питания. Блок управления через разъем подсоединяется с механизмами, расположенными внутри фигуры. В качестве двигателей использованы двигатели постоянного тока. Типовая видеосистема позволяет оператору, который находится в соседнем кабинете на расстоянии до 20 м, следить за обстановкой вблизи робота и активно участвовать в «спектакле». Для внешнего управления движениями робота спроектирован пульт управления на базе обычного радиотелефона.

В реализации проекта будут принимать участие сотрудники и студенты Поволжского государственного технологического университета, Марийского государственного университета, сотрудники Марийского проектного института, Йошкар-Олинского художественного училища, Центра развития человека «Прозрение», сотрудники Йошкар-Олинского кукольного театра и малого предприятия, организованного для серийного выпуска и реализации произведенной продукции.

Настоящий проект планируется реализовать в 2014 году после открытия нового кукольного театра в столице республики. Предлагаемый проект «Информационные робототехнические конструкции для детских дошкольных, культурных, оздоровительных и лечебных центров» Республики Марий Эл является очень добрым проектом, предназначенным для всестороннего развития и воспитания наших детей. Подобных кукольных театров нет ни в одном регионе страны, и это будет своеобразной визитной карточкой нашего города.

При серийном производстве робототехнических объектов на малом предприятии и реализации их в соседних регионах можно получить большую экономическую прибыль, а также поднять престиж республики.

Выводы. Созданный класс информационных робототехнических конструкций для детских дошкольных, лечебных и культурных учреждений, улучшит их эстетический вид, будет способствовать всестороннему воспитанию детей (причем затраты – минимальны, а эффективность – максимальна).

Список литературы

1. Лаврентьев Б.Ф., Бусыгин Г.В., Христофоров А.А., Кудрявцев И.А. Робототехническая конструкция. Патент RU № 133009 U1, опубликовано 10.10. 2013.
2. Лаврентьев Б.Ф. Фонтан. Патент RU № 2484904 C1, опубликовано 20.06.2013.
3. Лаврентьев Б.Ф., Щипкова Е.В., Орлова Н.А., Иванов Д.И. Робототехническая конструкция. Патент RU № 139409, опубликовано 20.04.2014.

INFORMATION ROBOTIC DESIGNS – AS MEANS OF VERSATILE DEVELOPMENT OF CHILDREN

Lavrentev Boris Fedorovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The questions of creation of the simple, cheap and high effective robotic designs executed in the form of fairy and epic heroes and their use in child care preschool, cultural and medical institutions for the purpose of a full development of children are considered in the article.

Keywords: children, development, education, fairy-tale characters, robotic design, automatic control, radio channel, design, fairy tales

УДК 638.8

СОЗДАНИЕ КОМПЛЕКСА СРЕДСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ ПЧЕЛОВОДСТВА В РОССИИ

Лаврентьев Борис Федорович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
Lavrentevbf@volgatech.net

Рассматриваются вопросы состояния пчеловодства в нашей стране. Отмечается, что повышение рентабельности в пчеловодстве возможно только за счет создания приборов для пчеловодства (таких, как приборы для сбора пчелиного яда, для диагностики состояния пчелосемей, для приготовления «серебряной воды и других).

Ключевые слова: пчелы, пчелиный яд, пчелосемья, мед, диагностика, рентабельность, улыи, «серебряная» вода, серийное изготовление

Введение Пчеловодство является одной из важнейших отраслей сельского хозяйства страны, однако из-за низкой рентабельности и отсутствия программы развития не может конкурировать с зарубежными производителями пчелопродуктов. Следует помнить, что пчеловодство дает ценные питательные, диетические и лекарственные продукты. Основной из них мед. Вторым по значению продуктом пчеловодства является воск. Он служит сырьем для более чем 80 отраслей народного хозяйства. Так, в медицине его вводят как компонент в мази и кремы; в электротехнической промышленности его включают в состав изолирующих материалов. Воск расходуют при изготовлении мастики для натирания полов, крема для обуви, красок, цветных карандашей и т.д.

Издавна в медицине для лечения ряда заболеваний используют пчелиный яд. Из него приготавливают лекарственные мази, которые втирают в кожу, а в народной медицине используют укусы пчел. Пыльцу, собранную пчелами, применяют как естественный поливитаминный препарат, потому что в ней содержатся разнообразные витамины и питательные вещества, необходимые для роста и развития организма.

Целебные свойства имеет маточное молочко – сложный продукт, который пчелы вырабатывают в своих железах. Из него получают препарат «Апилак», используемый в медицине.

Исключительно велика роль пчел в опылении сельскохозяйственных растений. Эти насекомые опыляют до 200 различных культур. Посещая цветки одного вида растений, пчелы переносят пыльцу с цветка на цветок (перекрестное опыление), в результате чего образуются полноценные завязи. Это значительно повышает урожайность.

Огромное внимание уделяется развитию пчеловодства во многих странах мира. Разработаны программы развития пчеловодства, которые повышают рентабельность пчеловодства, повышают его конкурентность на международных рынках, снижают стоимость продуктов пчеловодства. Например, стоимость меда (в рублевом эквиваленте) в США составляет около 100 руб. за 1 кг., на Украине – 90 руб., в Китае – 60 руб., в то же время у нас килограмм меда стоит 300-350 руб. Поэтому если не повысить рентабельность пчеловодства, то после вступления России в ВТО эта отрасль в нашей стране обречена на уничтожение.

Следовательно, важнейшей задачей современности является восстановление пчеловодства как высокоэффективной отрасли народного хозяйства за счет создания и внедрения специализированных приборов для пчеловодов и методик их использования. Известно, что в нашем регионе с древних времён активно развивалось пчеловодство. Однако в последние годы роль его неуклонно снижается. Одной из причин такого положения является то, что наша промышленность не выпускает приборы для пчеловодства – такие как передвижные пасеки, приборы для получения пчелиного яда, пыльцы, прополиса, маточного молока. Не выпускаются также приборы для получения «серебряной» воды и приборы диагностики жизнедеятельности пчелиных семей.

Как показывает опыт отечественного и зарубежного пчеловодства, выход из этого положения, т.е. повышение эффективности и получение достаточной прибыли, возможно обеспечить лишь при комплексном использовании пчелиных семей на производстве не только мёда, но и воска, пакетов пчёл, маток, биологически активной продукции (маточного молока, пыльцы, прополиса, пчелиного яда). Для получения сильных пчелосемей необходимо обеспечить пасеки высокоэффективными приборами для диагностики состояния пчел на различных этапах их развития, универсальными приборами для пчеловода, приборами, с помощью которых можно получать «серебряную воду» для питания пчел, дезинфекции ульев и борьбы с основными болезнями пчел.

Особое внимание следует уделить получению пчелиного яда. Пчелиный яд используется во многих лекарственных препаратах, и его стоимость составляет от 40 до 300 долларов за 1 грамм. В нашей стране пчелиный яд практически не собирается, все лекарства, созданные на его основе приобретаются за границей.

Практика показала, что с одной пчелосемьи, помимо меда, можно за сезон получить: пчелиного яда – до 2 г; цветочной пыльцы – до 6 кг, прополиса – до 2 кг; маточного молочка – до 500 г. Что касается меда, то его количество (при использовании передвижных пасек) можно увеличить в 4-6 раз.

Таким образом, используя все продукты пчеловодства, можно сделать пчеловодство достаточно доходной отраслью народного хозяйства.

Цель работы – повышение рентабельности пчеловодства в стране и повышение его конкурентоспособности на мировом рынке за счет разработки, изготовления и реализация целого ряда приборов для пчеловодства, а также создания технической документации на разработанные приборы.

Решаемые задачи: анализ существующего состояния пчеловодства в стране и создание приборов для его развития, повышения рентабельности и конкурентоспособности отрасли.

В предлагаемых приборах используется целый ряд технических решений, которые позволяют создавать приборы с отличными техническими характеристиками, а именно: высокой эффективностью, небольшой стоимостью и хорошими эксплуатационными качествами. Приборы для приготовления «серебряной» воды для нужд пчеловодства и приборы для диагностирования состояния пчелиных семей позволяют оздоровить пчелиные семьи, повысить их продуктивность, снизить процент гибели пчёл (особенно при их зимовке) и решить вопросы с роением пчёл.

Результаты работы. В Поволжском государственном технологическом университете созданы следующие приборы для пчеловодства.

Прибор для сбора пчелиного яда «Муки-2» выпущен опытной партией и успешно испытан на пасеках [1-3]. При его создании использованы новые технические решения, которые защищены патентами РФ.

Основные характеристики прибора:

- длительность импульса воздействия, с 5÷4
- длительность пауз, с 0,5÷4
- амплитуда выходных сигналов, В 10-50
- время работы, ч.....1,5-3
- несущая частота, кГц.....1-2
- максимальный выходной ток, А 0÷0,5
- автономность работы, ч, не менее.....48

Питание прибора производится от аккумулятора.

Отличительной особенностью прибора является введение режима автоматического изменения программы работы с изменением выходных параметров. Этот режим позволяет исключить привыкание пчел к раздражающим воздействиям и тем самым повысить производительность процесса получения яда.

Прибор собран на печатной плате из двухстороннего стеклотекстолита. На одной стороне платы установлены микросхемы, транзисторы, выходной трансформатор и органы управления. Кнопками, выведенными на переднюю панель, можно установить амплитуду выходных сигналов в пределах 20-50 В, время, и режим работы. Достоинством прибора является то, что нет необходимости отдельно устанавливать параметры выходных сигналов, так как это автоматически выполняется по программе.

Для возможности работы в полевых условиях печатная плата покрыта двухслойным лаком, а корпус литой из пластмассы с герметической закрываемой крышкой.

В приборе предусматривается внутренний аккумулятор ёмкостью 7 А.Ч. Кроме того, он может работать от внешнего аккумулятора, например от автомобильного. Прибор прост в эксплуатации, на него разработана эксплуатационная и техническая документация: описание, инструкция по эксплуатации, формуляр.

Прибор «Мукш 2» проходил испытания на пасаках Республики Марий Эл. Исследовалась работа прибора в различных режимах.

Приборами заинтересовалось министерство сельского хозяйства РМЭ и Союз пчеловодов РМЭ, которые изъявили желание приобрести приборы и получить пчелиный яд с пасек Республики Марий Эл. На прибор подано три заявки на патенты и получены два патента.

В настоящее время разрабатывается система сбора пчелиного яда, включающая устройство сбора пчелиного яда, транспортное устройство для проводных линий связи и ядоприемники, а также техническая документация для серийного изготовления на малом предприятии ПГТУ. Расчеты показали,



Рис. 1. Общий вид прибора

что одна система сбора пчелиного яда за один сезон обеспечит сбор яда в количестве 2-3 кг на сумму более 5-6 млн руб. и её окупаемость составляет не более 20 дней.

Проведенный информационный поиск показал, что на сегодняшний день в нашей стране полностью отсутствует производство приборов для сбора пчелиного яда, хотя

потребность в них существует, и все лекарственные препараты, созданные на основе этого ценного компонента, приобретаются за рубежом.

Приборы для диагностирования состояния пчелосемей. Одной из важнейших задач пчеловодства является периодическое диагностирование состояния пчелосемей. Это особенно важно в период их зимнего хранения, в период роения и в период интенсивного сбора меда. Состояние пчелосемей можно определить по частотной характеристике звуков, издаваемых пчелами. Результаты многочисленных экспериментов с пчелами свидетельствуют о том, что частотная характеристика звукового фона улья определяет функциональное состояние пчел.

Специальные сигналы и звуки, возникающие в процессе жизнедеятельности пчел, отражают их состояние. На этом основаны методы акустической диагностики. Наиболее четким показателем, характеризующим уровень активности пчел, является соотношение интенсивности спектральных составляющих в диапазоне 200-400 Гц. При снижении активности пчелосемей (роение, болезни, отсутствие матки и т.д.) максимальный спектр частот смещается в область 210-250 Гц.

По акустическому спектру частот пчелосемей можно определить отношение пчел к матке. В случае положительного отношения к матке пчелы издают звуки в диапазоне 165-200 Гц, при отрицательном – максимальный спектр энергии находится в области 330-440 Гц. По спектру можно определить микроклимат в улье, в том числе перегрев или высокую концентрацию углекислого газа, а также прогнозировать состояние пчелосемей в зимний период. Для выявления семей, зараженных варикозом, достаточно определить частотное положение пика интенсивности звука в диапазоне 300-400 Гц.

Одной из важнейших задач при проектировании приборов для диагностики состояния пчелосемей является разработка компьютерной программы по спектральному анализу звукового фона пчелиной семьи – это основа всего прибора и основная трудность при его создании.

Информационный поиск показал, что существующие системы диагностики состояния пчелосемей (пат. №2055473, № 2167518, №2259041, №22532271, №2198507, №2167518, №2161883, №2126204 и другие) достаточно сложны и не могут быть использованы в полевых условиях на пасеках. Работы по созданию малогабаритных диагностических приборов для пчеловодства ведутся на кафедре в течение последних лет.

Приборы для получения «серебряной» воды. Особенностью таких приборов является необходимость получения «серебряной» воды различной концентрации в условиях пасек. Концентрация ионов серебра должна составлять: для поения пчел – 05-1,2 мкг/л, для приготовления сиропа – 3,5-10 мкг/л, для промывки ульев и дезинфекции – 18-60 мкг/л и для лечения варикоза – 60-80 мкг/л. Второй особенностью таких приборов является его работа в полевых условиях, что требует высокой надежности прибора, хороших эксплуатационных характеристик, удобства эксплуатации и защиту от влаги и механических воздействий среды, а также удобство переноски и транспортировки.

Существует большое количество бытовых автономных ионизаторов воды, например «Пингвин», «Дельфин», «Сильва», «Георгий», «Невотон». Эти приборы применяются в домашних условиях и не могут обеспечить необходимую концентрацию ионов серебра в воде. Они также малоэффективны при работе в условиях пасек.

Применение «серебряной» воды в пчеловодстве позволит значительно оздоровить пчелиные семьи. «Серебряная» вода малой концентрации для питания пчел оздоровит их, сделает значительно сильнее пчелосемьи, а следовательно, позволит получить большую отдачу от каждой из них. «Серебряная» вода с большой концентрацией серебра используется для дезинфекции ульев и для борьбы с варикозом у пчел. Информационный поиск показал, что в настоящее время подобных приборов для пчеловодства нет. Существующие приборы для получения «серебряной» воды достаточно сложные и мало приспособлены для практического применения на пасеках. В ПГТУ создан прибор для получения «серебряной» воды с концентрацией серебра до 100 мг/л, с автоматическим режимом работы и питанием от аккумулятора. Разработана техническая и эксплуатационная документация для серийного выпуска приборов на малом предприятии [1-4].

На 2014 год в ПГТУ в рамках работ по пчеловодству планируется создание опытной партии систем сбора пчелиного яда, в состав которой будут входить модернизированной прибор для сбора пчелиного яда, ядоприемники, проводные линии связи и средства транспортировки. В летний период планируется провести всесторонние испытания системы в опытном лесхозе ПГТУ.

Выводы. Разрабатываемые приборы для пчеловодства позволят увеличить рентабельность пчеловодства и повысить имидж университета и Республики Марий Эл в целом.

Список литературы

1. Лаврентьев Б.Ф. Устройство для сбора пчелиного яда. Заявка на патент №2013149440/13(076952) от 06.11.2013.
2. Лаврентьев Б.Ф., Петухов И.В., Белов Д.А. Устройство для сбора пчелиного яда. Патент РФ № 128962, опубликован 20.06.2013.
3. Лаврентьев Б.Ф., Красильникова Э.М. Устройство для сбора пчелиного яда. Патент РФ № 1048214 27.05.2013
4. Лаврентьев Б.Ф., Федосеев В.И., Эмекин А.А. Прибор для получения «серебряной» воды. Заявка на полезную модель № 2013123971 от 24.05.13.
5. Лаврентьев Б.Ф., Кондратьев Г.Л. Устройство для сбора прополиса. Авторское свидетельство №1835233. Бюллетень изобретений №31 за 1993 год.

CREATION OF A COMPLEX OF MEANS FOR THE DEVELOPMENT OF BEEKEEPING IN THE REPUBLIC IN RUSSIA

Lavrentev Boris Fedorovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

In the article the questions of a condition of beekeeping are considered in our country. It is noted that the increase of profitability in beekeeping is only possible through the development of devices for beekeeping, such as devices for collecting bee venom, bee colonies to diagnose the condition, for preparation a «silver» water, etc., and also the development of methods for their use.

Keywords: bees, bee venom, bee colonies, honey, diagnostics, treatment, beehives, profitability, «silver» water, construction, serial production

УДК 621.371.25;550.388.2

АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕГУЛЯРНОЙ И СТОХАСТИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЧАСТОТНОЙ ДИСПЕРСИИ

Михеева Надежда Николаевна, Киселева Ольга Валерьевна

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
MiheevaNN@volgatech.net

Рассмотрены математические модели составляющих частотной дисперсии и методика выделения регулярной и стохастической составляющих частотной дисперсии и определения их параметров при обработке натурных ионограмм. Приведены экспериментальные оценки параметра нелинейности частотной дисперсии и параметров стохастической составляющей частотной дисперсии, полученные для радиоканалов с полосой 1 МГц и средними относительными частотами, равными 0,5, 0,7 и 0,9, для трасс Кипр – Йошкар-Ола и Иркутск – Йошкар-Ола.

Ключевые слова: частотная дисперсия; дисперсионная характеристика радиоканала; регулярная и стохастическая составляющие частотной дисперсии; параметр нелинейности

Введение. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью разработки методов коррекции искажений широкополосных радиосигналов, возникающих при их распространении в ионосфере, которая является средой с ярко выраженной частотной дисперсией. Влияние линейной регулярной составляющей частотной дисперсии на искажения характеристик ионосферных радиоканалов изучено достаточно полно [1-5], в то время как дисперсионные искажения, вызванные нелинейной регулярной и стохастической составляющих частотной дисперсии, ранее практически не исследовались. Для решения проблемы коррекции таких искажений необходимо прежде всего исследовать основные параметры составляющих частотной дисперсии.

Цель работы – разработать методику выделения регулярной и стохастической составляющих частотной дисперсии по натурным ионограммам и экспериментально исследовать их параметры.

Решаемые задачи: 1) провести натурные эксперименты по наклонному зондированию ионосферы непрерывным ЛЧМ-сигналом; 2) создать математические модели составляющих частотной дисперсии для широкополосных ионосферных радиоканалов в случайно-неоднородной среде на основе экспериментальных данных; 3) разработать методику выделения регулярной и стохастической составляющих частотной дисперсии по экспериментальным данным; 4) экспериментально исследовать параметры составляющих частотной дисперсии для радиотрасс Кипр – Йошкар-Ола и Иркутск – Йошкар-Ола в зависимости от средней частоты канала и геофизических факторов (времени суток, сезона, протяженности радиотрассы).

Математическое моделирование. Для исследования частотной дисперсии ионосферных радиоканалов были проведены натурные эксперименты с помощью ЛЧМ ионозонда разработки ПГТУ. На рис. 1а приведен пример натурной ионограммы наклонного зондирования, на которой видны моды распространения сигнала. Они представляют собой экспериментальные дисперсионные характеристики (ДХ) радиоканалов. Яркость точек соответствует мощности сигнала в логарифмическом масштабе.

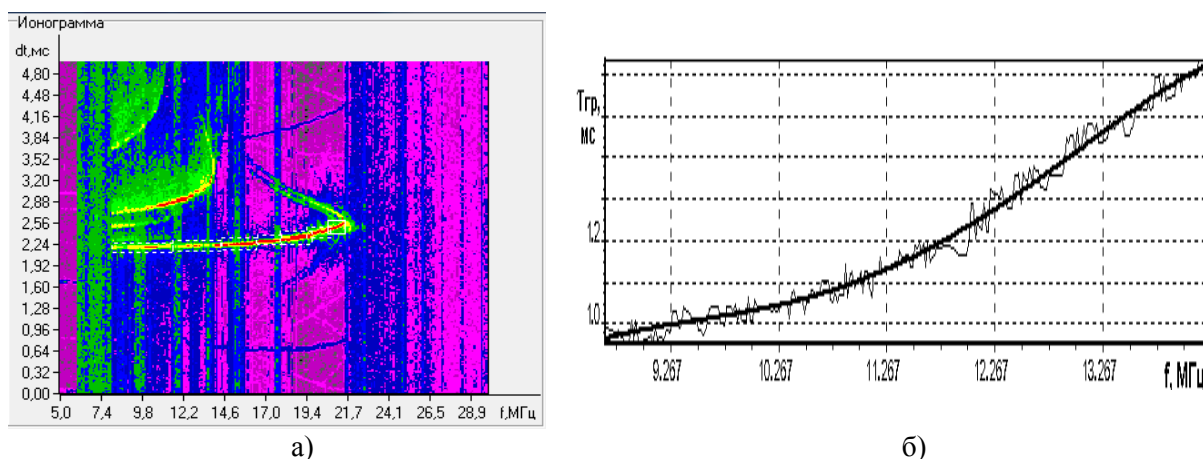


Рис. 1. Натурная ионограмма (а) и фрагмент экспериментальной дисперсионной характеристики для нижнего луча и ее полиномиальная аппроксимация (б)

На основе визуального анализа всего множества натуральных ионограмм была предложена математическая модель ДХ широкополосного ионосферного радиоканала следующего вида:

$$\tau_k(f) = \bar{\tau}_{kp}(f) + \tilde{\tau}_k(f), \quad (1)$$

где $\bar{\tau}_{kp}(f)$ – регулярная, $\tilde{\tau}_k(f)$ – стохастическая составляющие частотной дисперсии.

Регулярная составляющая ДХ представляет собой гладкую функцию, которая за пределами точек разрыва допускает аппроксимацию полиномами вида:

$$\bar{\tau}_{kp}(f) = P_n(f) = \sum_{j=0}^n a_j f^j \quad \text{и} \quad \bar{\tau}_{kp}(f) = P_n(f) = \sum_{j=0}^n a_j (f - f_i)^j. \quad (2)$$

На рис. 1б приведены фрагмент экспериментальной ДХ для нижнего луча и ее полиномиальная аппроксимация. Здесь видны «зашумленности», которые носят случайный характер и представляют собой проявления стохастической составляющей частотной дисперсии. Для описания стохастической составляющей ДХ может быть использован некоторый случайный процесс $\tilde{\tau}_k(f)$, основными параметрами которого являются математическое ожидание $\langle \tilde{\tau}_k(\bar{f}) \rangle$ и среднее квадратическое отклонение (СКО) σ_τ .

Для исследования регулярной нелинейной составляющей $\bar{\tau}_{kp}(f)$ частотной дисперсии рассматривались сглаживающие полиномы второй степени вида:

$$\bar{\tau}_{kp}(f) = \frac{1}{2} v_k(\bar{f})(f - \bar{f})^2 + s_k(\bar{f})(f - \bar{f}) + \bar{\tau}_{kp}(\bar{f}), \quad (3)$$

где $v_k(\bar{f}) = \left. \frac{d^2 \bar{\tau}_{kp}}{df^2} \right|_{f=\bar{f}}$ – параметр нелинейности [мкс/МГц²] и $s_k(\bar{f}) = \left. \frac{d \bar{\tau}_{kp}}{df} \right|_{f=\bar{f}}$ –

наклон [мкс/МГц] дисперсионной кривой $\bar{\tau}_{kp}(f)$.

Техника эксперимента. Для выделения регулярной и стохастической составляющих частотной дисперсии была разработана и программно реализована методика обработки натуральных ионограмм, полученных с помощью ЛЧМ-ионозонда разработки ПГТУ. Основные элементы этой методики представлены на рис. 2.

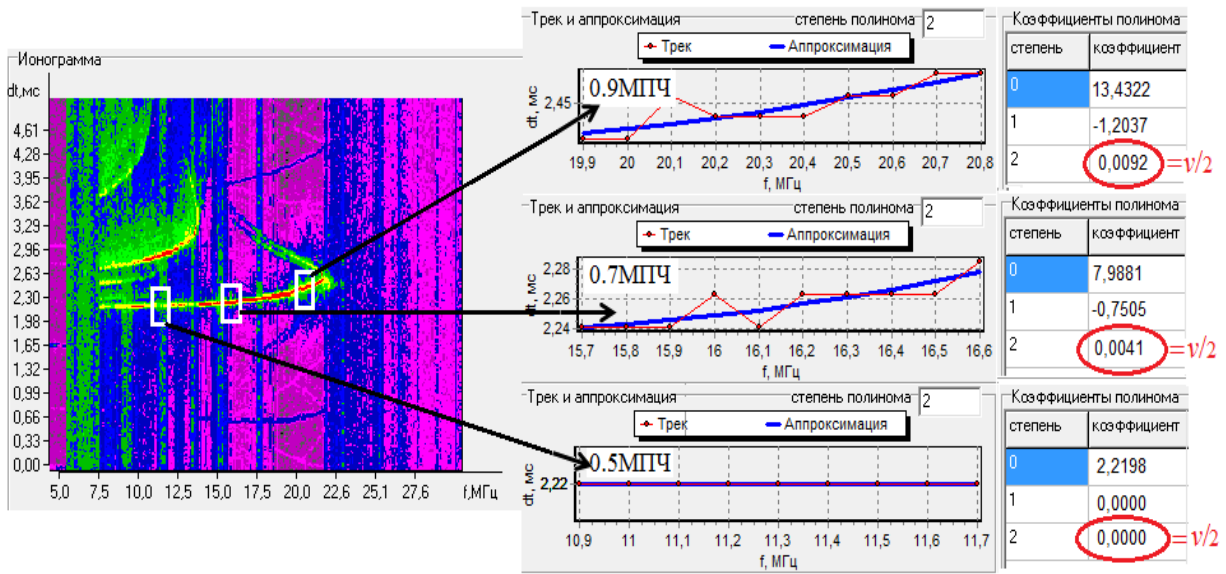


Рис. 2. Фрагмент методики обработки натурной ионограммы для выделения регулярной и стохастической составляющих частотной дисперсии

Основной идеей разработанной методики является полиномиальная фильтрация экспериментальной ДХ на выбранной полосе частот. Экспериментальная ДХ выбранного радиоканала аппроксимируется полиномом второй степени вида:

$$\bar{\tau}_{kp}(f) = a_2 f^2 + a_1 f + a_0. \quad (4)$$

При этом методом наименьших квадратов определяются все его коэффициенты. Параметры линейности и нелинейности регулярной составляющей частотной дисперсии связаны с коэффициентами аппроксимирующего полинома формулами:

$$s_k(\bar{f}) = 2a_2 \bar{f} + a_1, \quad v_k(\bar{f}) = 2a_2. \quad (5)$$

В качестве стохастической составляющей ДХ выбирается остаточная компонента, значения $\tilde{\tau}_k(\bar{f})$ которой определяются как разность значений экспериментальной ДХ $\tau_k(\bar{f})$ и ее регулярной составляющей $\bar{\tau}_{kp}(\bar{f})$:

$$\tilde{\tau}_k(\bar{f}) = \tau_k(\bar{f}) - \bar{\tau}_{kp}(\bar{f}). \quad (6)$$

Параметры регулярной и стохастической составляющих частотной дисперсии исследовались на основе данных, полученных в натурных экспериментах, проведенных на трассах Кипр – Йошкар-Ола протяженностью 2620 км и Иркутск – Йошкар-Ола протяженностью 3500 км. Исследовались ДХ радиоканалов с полосой 1 МГц и средними относительными частотами $\hat{f} = 0.5$, $\hat{f} = 0.7$ и $\hat{f} = 0.9$ для нижнего луча моды F.

Интерпретация результатов. Для параметра нелинейности $v_k(\bar{f})$ регулярной составляющей частотной дисперсии были получены оценки его значений и исследована его зависимость от различных факторов (рис. 3). В частности, установлено, что параметр $v_k(\bar{f})$ возрастает с увеличением средней относительной частоты радиоканала и уменьшается с увеличением протяженности радиотрассы, а также увеличивается от дня к ночи.

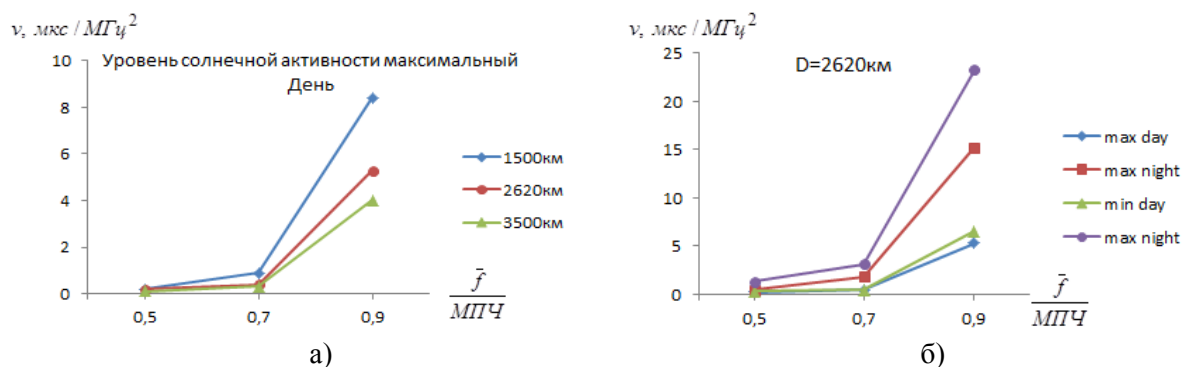


Рис. 3. Зависимость параметра нелинейности от средней частоты радиоканала и протяженности радиотрассы (а) и от времени суток (б)

Полученное множество значений стохастической составляющей ДХ обрабатывалось методами математической статистики. На основе критерия Пирсона с достоверностью 0,99 было установлено, что стохастическая составляющая частотной дисперсии в условиях слабо возмущенной ионосферы может быть описана нормальным законом распределения вида:

$$G(\tilde{x}_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_\tau} \exp\left(-\frac{\tilde{x}_k^2}{2\sigma_\tau^2}\right). \quad (7)$$

Для оценки параметров стохастической составляющей ДХ были определены суточные ходы их экспериментальных значений в зависимости от средней относительной частоты радиоканала и сезона (рис. 4 а). Установлено, что среднее значение $\langle \tilde{\tau}_k(\tilde{f}) \rangle$ равно нулю, а СКО σ_τ не превосходит 90 мкс [6-7].

Также было проведено исследование влияния геомагнитной возмущенности ионосферы на СКО σ_τ стохастической составляющей. В сентябре 2005 г. наблюдались сильные магнитные бури с индексом Кр до 9 единиц. На основе анализа суточных ходов значений СКО σ_τ в условиях слабой и сильной возмущенности установлено, что значения СКО σ_τ растут с увеличением возмущенности независимо от направленности радиотрассы (рис. 4 б).

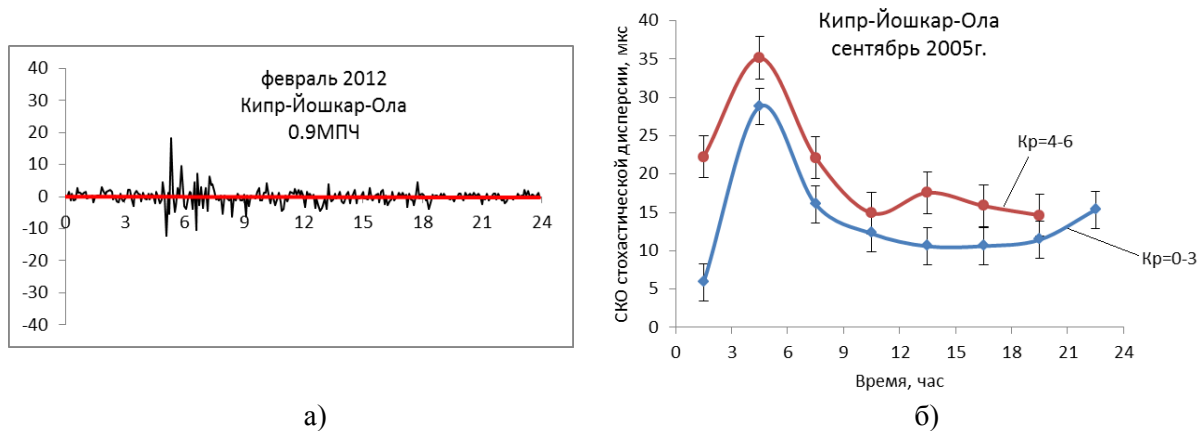


Рис. 4. Суточные ходы среднего значения (а) и СКО (б) стохастической составляющей частотной дисперсии

Выводы

1. Теоретически обоснована и развита методика определения дисперсионной характеристики радиоканалов по ионограммам натуральных экспериментов, отличающаяся учетом стохастической и регулярной составляющих.
2. Выявлены закономерности стохастической составляющей частотной дисперсии, а также зависимости ее параметров от средней частоты радиоканала, протяженности и направленности радиотрассы и геофизических факторов.
3. Экспериментально определены значения параметра нелинейности частотной дисперсии и установлена его зависимость от средней частоты радиоканала, протяженности радиотрассы, времени суток.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 11-07-00420-а; 12-02-31734_мол_а; 13-07-00371-а; 13-02-00524-а; 13-07-97041; ФЦП: ГК №14.132.21.1418; АВЦП: № 8.2523.2011, № 8.2448.2011, № 8.2559.2011; 8.2346.2011.

Список литературы

1. Иванов Д.В. Методы и математические модели исследования распространения в ионосфере сложных декаметровых сигналов и коррекции их дисперсионных искажений: монография. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. 15 с.
2. Крюковский А.С., Зайчиков И.В. Особенности распространения радиоимпульсов в средах с дисперсией // Электромагнитные волны и электронные системы. 2008. Т. 13, № 8. С. 36-41.
3. Арманд Н.А., Иванов В.А. Коррекция дисперсионных искажений широкополосных сигналов // Распространение радиоволн: труды XXI Всерос. науч. конференции. Йошкар-Ола, 2005. Т. 1. С.10-18.
4. Рябова М.И. Синтез и исследование дисперсионных характеристик высокочастотных радиоканалов для случая квазизенитного распространения радиоволн // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы, 2011. Т. 13, № 3. С. 36-45.
5. Исследование коррекции дисперсионных искажений, возникающих в ионосферных радиоканалах с полосой 1 МГц / Иванов Д.В. [и др.] // Электромагнитные волны и электронные системы. 2008. Т. 13, № 8. С. 58-66.
6. Влияние стохастически нерегулярной дисперсии на характеристики широкополосного высокочастотного канала /Иванов В.А. [и др.] // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2011. № 1. С. 31-37.
7. Иванов В.А., Иванов Д.В., Михеева Н.Н. Стохастические дисперсионные искажения характеристик широкополосных высокочастотных радиоканалов // Электромагнитные волны и электронные системы. 2012. № 9. С. 37-41.

ALGORITHM OF ALLOCATION REGULAR AND STOCHASTIC COMPONENTS OF FREQUENCY DISPERSION WHILE PROCESSING

Mikheeva Nadezda Nikolaevna, Kiseleva Olga Valerevna

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Mathematical models of components of frequency dispersion and the method of regular and stochastic components of frequency dispersion and determination their parameters are reviewed. The experimental evaluation of parameter of nonlinearity and parameters of stochastic components of frequency dispersion are presented. The results are obtained for radio channels with a bandwidth of 1 MHz and average relative frequencies 0,5, 0,7, 0,9 for the radio path Cyprus – Yoshkar-Ola and Irkutsk – Yoshkar-Ola.

Keywords: frequency dispersion, dispersion characteristics of the radio channel, stochastic and regular components of frequency dispersion, parameter of nonlinearity

УДК 621.391

ПОМЕХОУСТОЙЧИВАЯ ОЦИФРОВКА ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММ С БУМАЖНЫХ НОСИТЕЛЕЙ

Севастьянов Виктор Викторович¹, Иванов Константин Олегович²

¹ГБУ РМЭ Центр патологии речи и нейрореабилитации, Россия, Йошкар-Ола

²ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
krtmbs@volgatech.net

Разработан метод получения цифровых дискретных отсчетов аналоговых электроэнцефалограмм, выполненных на бумажных носителях. Оцифровка осуществляется путем комбинации методов статистической обработки изображений и распознавания образов, морфологической обработки и алгоритмов контурного анализа

Ключевые слова: дилатация; контур; многомерное нормальное распределение; морфологическая обработка изображений; оцифровка графиков; расстояние Махаланобиса; электроэнцефалограмма; эрозия

Введение. Запись электроэнцефалограмм осуществляется либо на бумажной ленте, либо на цифровом накопителе. Несмотря на то, что в настоящее время происходит переход на цифровой формат хранения данных и внедрение компьютерных методов в клиническую нейрофизиологию [1], по-прежнему имеются значительные банки данных электроэнцефалограмм (ЭЭГ), выполненные на бумажных носителях. Кроме того, многочисленные пособия и справочники по электроэнцефалографии обычно не сопровождаются компакт-дисками с файлами записей ЭЭГ, а содержат информацию лишь в виде изображений. В связи с этим оцифровка ЭЭГ по растровым изображениям является актуальной задачей, так как позволяет не только перейти к более удобному формату хранения данных, но может использоваться для получения значений эталонных сигналов.

Цель работы – получение дискретных отсчетов аналоговых электроэнцефалограмм в цифровом виде по их цветным изображениям.

Решаемые задачи: 1) разработка алгоритма сегментации изображений электроэнцефалограмм; 2) морфологическая обработка изображений с целью уменьшения помех и выделения граничных точек; 3) прослеживание контуров на граничных изображениях; 4) получение цифровых дискретных отсчетов ЭЭГ по замкнутым контурам с заполнением возможных пробелов при помощи линейной интерполяции.

Математическое моделирование. Для получения дискретных отсчетов ЭЭГ в цифровом виде с бумажных носителей разработан следующий алгоритм (рис. 1).



Рис. 1. Алгоритм работы программы для получения дискретных отсчетов ЭЭГ

На начальном этапе осуществляется цветовая сегментация изображения бумажной ленты ЭЭГ с целью устранения посторонних объектов. Далее выполняется морфологическая обработка для выделения граничных точек изображения,

уменьшения помех и заполнения небольших отверстий в сегментированных графиках ЭЭГ. На завершающем этапе осуществляется прослеживание контуров и получение дискретных цифровых отсчетов ЭЭГ по их контурам с заполнением возможных разрывов при помощи линейной интерполяции.

Процесс сегментации можно рассматривать как задачу кластерного анализа [2]. Предварительно был получен репрезентативный массив векторов $\varepsilon = \{R_i, G_i, B_i\}^T \parallel_1^N$, где R, G, B – красный, зеленый и голубой каналы яркости изображения. Массив соответствует участку графика ЭЭГ на изображении и образует кластер данных. Обозначим через $m = \{m_R, m_G, m_B\}^T$ математическое ожидание указанной выборки, а через C – её ковариационную матрицу. Задачей сегментации в данном случае является отнесение произвольного пиксела $z = \{R, G, B\}^T$ изображения к кластеру ε с заданной вероятностью.

Предполагается, что величина ε удовлетворяет нормальному закону распределения, что достаточно часто имеет место на практике. Кумулятивная функция многомерного нормального распределения размерности n имеет вид:

$$G_n(T) = \int_0^T \frac{y^{n-1} e^{-y^2/2}}{2^{(n-2)/2} \Gamma(n/2)} dy, \quad (1)$$

где T – пороговое значение для расстояния Махаланобиса, определяемого выражением

$$D(z, m) = \left[(z - m)^T C^{-1} (z - m) \right]^{1/2}. \quad (2)$$

В случае, когда размерность пространства равна трем, геометрическим местом точек, для которых $D(z, m) \leq T$, является трехмерный эллипсоид [3].

На рис. 2 изображена полученная эталонная выборка, которая аппроксимируется сферой (рис. 2а) в случае использования Евклидова расстояния и эллипсоидом (рис. 2б) при использовании расстояния Махаланобиса. На рисунке видно, что распределение трехмерных данных лучше отслеживается эллипсоидом, чем сферой.

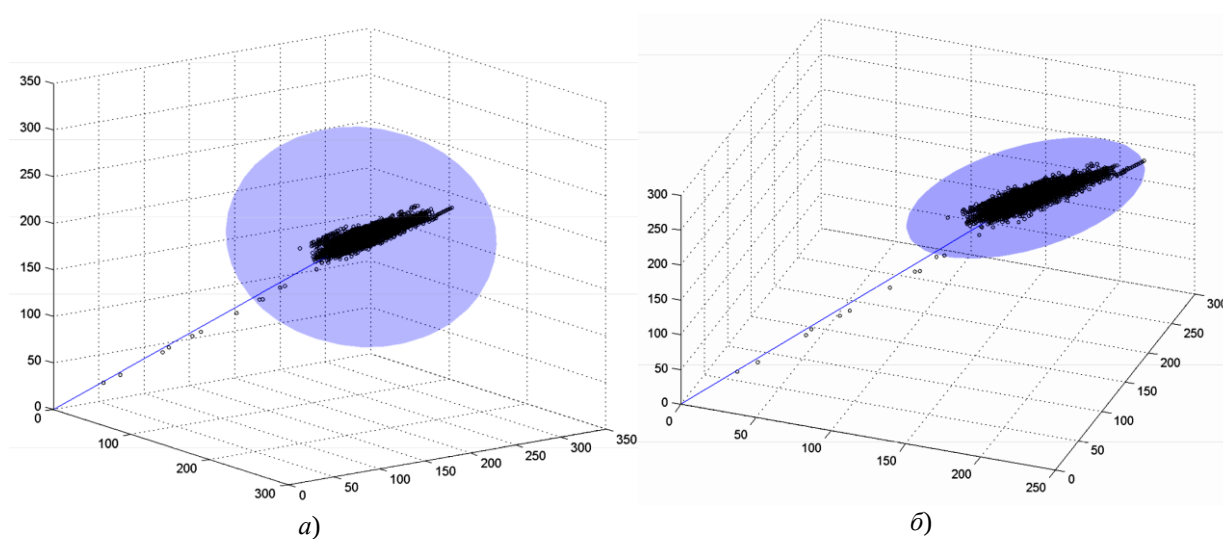


Рис. 2. Аппроксимация данных трехмерного распределения: а) шаром; б) эллипсоидом

Если задать порог T для расстояния Махаланобиса, то можно определить, с какой вероятностью P_z пиксел z лежит внутри эллипсоида, определяемого выражением (2), т.е. принадлежит кластеру ε :

$$P_z = P\{D_n(z, m) \leq T\} = G_n(T^2). \quad (3)$$

Если задать вероятность, с которой вектор z может принадлежать выборке ε , можно вычислить значение порога T для расстояния Махаланобиса:

$$T = \sqrt{G_n^{-1}(P(z \in \varepsilon))}. \quad (4)$$

В представленной работе был синтезирован селектор для цветовой сегментации сканированных изображений электроэнцефалограмм, принцип работы которого основан на вычислении расстояния Махаланобиса от произвольного пиксела $z = \{R, G, B\}^T$ изображения до $m = \{m_R, m_G, m_B\}^T$ – центра масс выборки ε . Если значение расстояния Махаланобиса $D(z, m)$ меньше порога T , то данному пикселу присваивается значение яркости, равное 255, что соответствует белому цвету, в противном случае пикселу присваивается черный цвет (нулевое значение яркости). Значение порога T было выбрано равным 3, из формулы (3) следует, что при условии, если выборка ε имеет нормальное распределение, вероятность $P\{D_3(z, m) \leq 3\} \approx 0,997$ – аналог правила 3σ для трехмерного нормального распределения, таким образом, точность работы синтезированного селектора приблизительно составляет 99,7% для векторов $z \mid D(z, m) \leq 3$.

Результатом сегментации является бинарное по яркости изображение, на котором выделены лишь области, соответствующие участкам графиков электроэнцефалограмм. Дальнейшее улучшение изображения осуществляется при помощи морфологической обработки. Первой использованной операцией морфологической обработки изображений является дилатация, которая наращивает объекты на изображении, благодаря чему заполняются небольшие отверстия и сглаживаются границы выделенных областей. В качестве структурообразующего элемента для дилатации выбрана единичная матрица, с тремя вертикальными и горизонтальными элементами. Далее на изображении выделяются граничные точки. Для этого из исходного изображения вычитается результат его эрозии. После морфологических преобразований осуществляется прослеживание контуров на граничных изображениях [4]. На завершающем этапе из полученных контуров вычисляются цифровые дискретные отсчеты с заполнением возможных разрывов при помощи линейной интерполяции.

Интерпретация результатов. В работе использовался банк данных аналоговых электроэнцефалограмм, предоставленный республиканской клинической больницей. На рис. 3, а приведено изображение сканированного участка записи ЭЭГ, а на рис. 3, б показан результат его сегментации, полученный на основе заданного порога для расстояния Махаланобиса от произвольного пиксела до центра эталонной выборки. Как видно на рис. 3, цветовая сегментация позволяет полностью подавить фон и вертикальные линии на изображении, выделив графики ЭЭГ, однако в сегментированных графиках появляются разрывы на месте пересечения с

вертикальными линиями, которые достаточно просто ликвидировать непосредственно на этапе получения дискретных цифровых отсчетов при помощи линейной интерполяции.

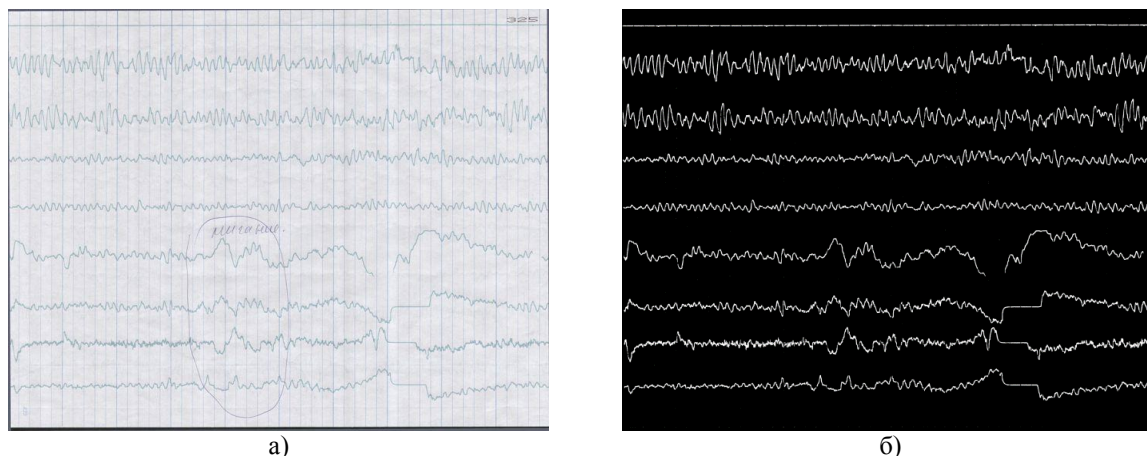


Рис. 3. Изображения сканированной ЭЭГ:
а) цифровая копия; б) изображение после цветовой сегментации

На рис. 4 приведен пример графика ЭЭГ, построенного по результатам данных, полученных в ходе оцифровки. Использование аппарата контурного анализа позволяет значительно повысить точность распознавания за счет исключения изолированных малоразмерных объектов на изображении путем введения порога на длину и площадь контура [5].

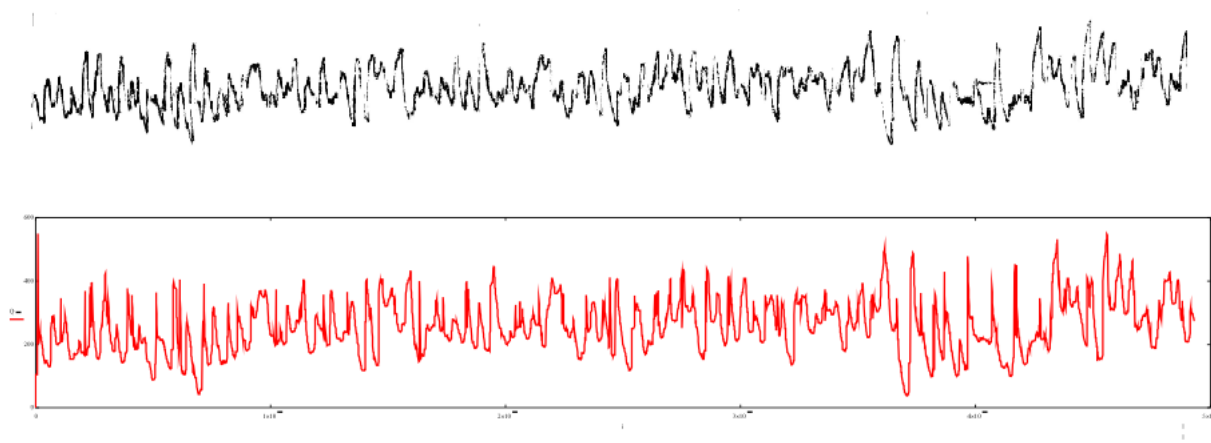


Рис. 4. Результат аналого-цифрового преобразования ЭЭГ с бумажной ленты

В ходе работы была синтезирована программная модель приложения для сегментации изображений, прослеживания контуров и получения дискретных отсчетов. Обработка изображений осуществлялась при помощи библиотеки компьютерного зрения OpenCV. Программа написана на языке C++ в среде MS Visual Studio. Интерфейс программной модели реализован при помощи библиотеки Qt. Кроме того, программная модель поддерживает язык сценариев QtScript, что дает возможность автоматизиро-

вать процесс обработки изображений, исключив регулярно повторяющиеся действия при получении цифровых дискретных отсчетов ЭЭГ.

Выводы

Произведена статистическая обработка цветных изображений сканированных электроэнцефалограмм, по результатам которой выяснилось, что данные спектральных характеристик цвета графиков ЭЭГ хорошо аппроксимируются трехмерным нормальным распределением в векторном пространстве RGB.

Определен порог для расстояния Махаланобиса, при котором произвольный пиксел z сканированного изображения принадлежит эталонной выборке ϵ .

На основании методов математической морфологии достигнуто улучшение сегментированного изображения сканированной ЭЭГ.

Реализованы устойчивые к помехам методы контурного анализа граничных изображений сканированных ЭЭГ.

Реализованные алгоритмы могут использоваться для получения эталонных сигналов, в частности содержащих в своем составе аппаратные артефакты или иные уникальные наборы данных.

Список литературы

1. Зенков Л.Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии). Руководство для врачей. 5-е изд. М.: МЕДпресс-информ, 2012. 356 с.
2. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. М.: Вильямс, 2004. 928 с.
3. Гонсалес Р.С., Вудс Р.Е. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2006. 1072 с.
4. Введение в контурный анализ и его приложения к обработке изображений и сигналов / Фурман Я.А. [и др.]. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 592 с.
5. Фурман Я. А., Роженцов А. А., Хафизов Р. Г. Контурный анализ сигналов и изображений в инфокоммуникационных системах // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2012. № 2 (16). С. 29-63.

RESISTANT TO INTERFERENCE DIGITIZING EEG FROM PAPER CARRIER

Sevastyanov Victor Victorovich¹, Ivanov Konstantin Olegovich²

¹The center of speech pathology and neurorehabilitation, Russia, Yoshkar-Ola

²Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

A new method of digitizing EEG from paper carrier was developed. The method is based on statistical image processing and multidimensional modelling. Morphological image processing and contour analysis are also used. Finally, experimental results validate the effectiveness of the proposed combined method for digitizing EEG from paper carrier.

Keywords: *contour, dilatation, electroencephalogram, erosion, graphs digitizing, multivariate normal distribution, morphological image processing, Mahalanobis distance*

УДК 621.373.9: 621.3.084.2

ВЫРАБОТКА ПОДХОДА К ПРОЕКТИРОВАНИЮ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Ханнанов Андрей Маратович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола

Предлагается вариант реализации многофункционального прибора для радиолюбительской практики, обладающего функциями частотомера и генератора гармонических сигналов. При разработке прибора были использованы методы цифрового счета частоты, а также цифро-аналогового синтеза частот без обратных связей для подстройки частоты. Разработана схема электрическая принципиальная, написана программа для микроконтроллера, управляющего прибором.

Ключевые слова: цифровой синтез сигналов, частотомер, широтно-импульсная модуляция, программирование микроконтроллеров

Введение. В последнее время в радиолюбительской практике часто реализуются широко доступные ныне схемы радиотехнических устройств на современной элементной базе. Однако для реализации всех заложенных в устройства возможностей зачастую после изготовления необходима их доработка или калибровка. В этом случае возникает необходимость в электроизмерительных приборах. При этом возможности современной элементной базы позволяют создавать многофункциональные измерительные приборы, сосредотачивающие несколько функциональных назначений в одном устройстве. Данная статья посвящена разработке электроизмерительного прибора, сочетающего в себе две функции: измерение частоты сигнала, а также генерация сигналов.

Цель работы – спроектировать электроизмерительный прибор, сочетающий функции измерения частоты и генерации сигналов.

Решаемые задачи: 1) разработка алгоритма работы и написание программы частотомера; 2) разработка алгоритма работы и написание программы генератора сигналов; 3) создание алгоритма работы и написание программы управления прибором включая алгоритмы вывода информации и ввода управляющих команд; 3) разработка схемы электрической принципиальной прибора.

Моделирование. Основным узлом прибора выбран микроконтроллер ATmega8 [1]. Функциональные блоки устройства представляют собой программно-аппаратные комплексы, переключение между которыми производится по команде пользователя. Основных функций две: счет частоты и генерация сигналов. Одновременно может работать только одна функция прибора. Также в приборе имеется функция вывода информации о принятом или сгенерированном сигнале. Эта функция представляет собой программно-аппаратный комплекс.

Эскиз структурной схемы прибора представлен на рисунке 1.

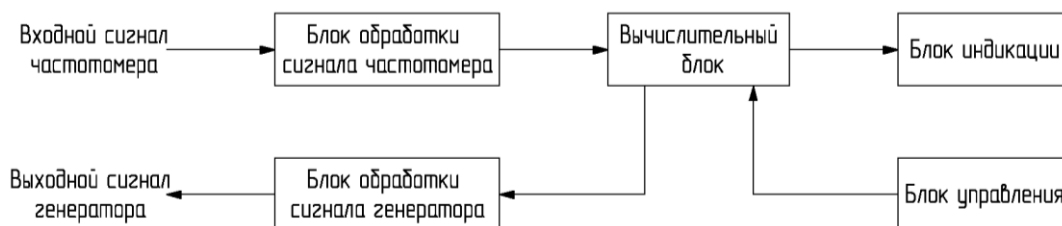


Рис. 1. Структурная схема работы многофункционального прибора радиолюбителя

Частотомер состоит из блока обработки сигналов и микроконтроллера, производящего подсчет частоты. Схема частотомера представлена на рисунке 2. Блок обработки сигналов представляет собой усилитель-ограничитель входного сигнала, реализованный на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером, выход которого соединен с делителем частоты на 16, реализованном на синхронных D-триггерах. Также, параллельно делителю частоты, на второй счетный вход микроконтроллера поступает сигнал с выхода усилителя. Поступающий на вход микроконтроллера импульс служит инициализацией внешнего прерывания, в программе которого будет проводиться инкремент переменной, отвечающей за число импульсов. Частота определяется подсчетом числа импульсов в единицу времени [2].

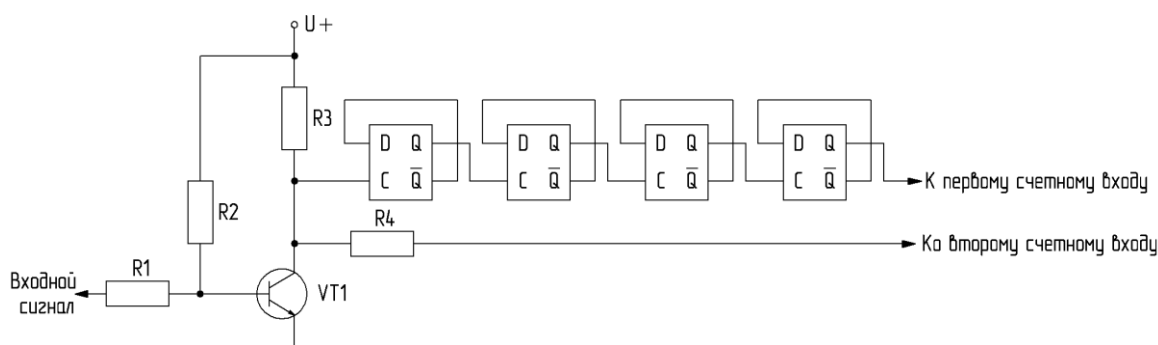


Рис. 2. Схема устройства обработки входного сигнала частотомера. Входной сигнал усиливается по мощности и поступает на тактовый вход первого регистра, а также на второй счетный вход

Прибор может быть запрограммирован на генерацию однополярных сигналов любой формы, для проектирования выбрана синусоидальная форма сигнала [3]. Генерация сигналов происходит в три этапа:

- генерирование микроконтроллером ШИМ-сигнала, модулированного сигналом требуемого вида и частоты;
- детектирование сигнала с помощью интегрирующей цепи;
- усиление детектированного сигнала.

Генерирование ШИМ-сигнала производится с помощью встроенного восьмибитного счетчика микроконтроллера. Импульсы модулируемой последовательности следуют с частотой работы микроконтроллера. Скважность импульсов модулируется последовательной подстановкой значения ширины очередного импульса в специальный регистр счетчика.

Значение числа импульсов, приходящееся на период генерируемой частоты вычисляется перед началом генерации. Далее распределяется число импульсов, приходящееся на одно значение скважности. Число значений скважности импульсов на один период частоты представляет собой так называемое разрешение импульса, оно выбирается заранее и записывается в программу микроконтроллера [3].

Значение генерируемой частоты регулируется потенциометром, подключенным к цепи питания и АЦП микроконтроллера. Для разрабатываемого прибора используется 8-битный RISC микроконтроллер ATmega8, в его периферии присутствует 10-битный АЦП, позволяющий считать 1024 значения входного напряжения. Каждому значению, считанному АЦП, присваивается значение частоты генерируемого сигнала. Таким образом, пользователь может получить сигнал требуемой частоты. Процесс преобразования ШИМ-сигнала в синусоиду представлен на рисунке 3.

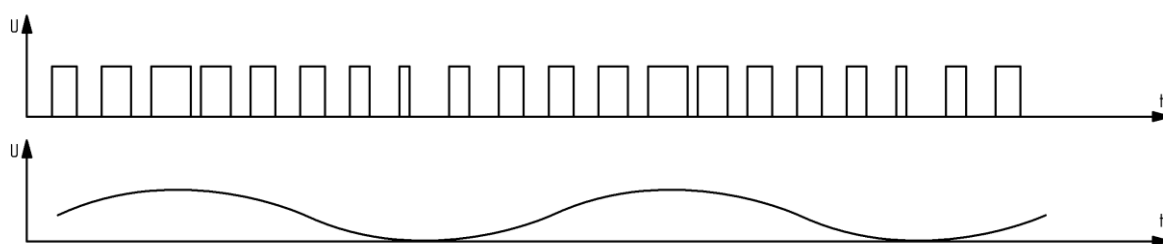


Рис. 3. Выделение синусоиды из ШИМ-сигнала.

Сквозность ШИМ-импульсов изменяется по закону синусоиды, устанавливаемому пользователем.
Синусоида восстанавливается интегрирующей RC-цепью

Схема блока обработки сигнала генератора представлена на рисунке 4. После интегрирующей RC-цепи сигнал через разделительный конденсатор C2 поступает на вход операционного усилителя. Усиленный сигнал подается по цепи ООС, содержащей полевой транзистор, который выполняет функцию автоматической регулировки амплитуды выходного сигнала [5].

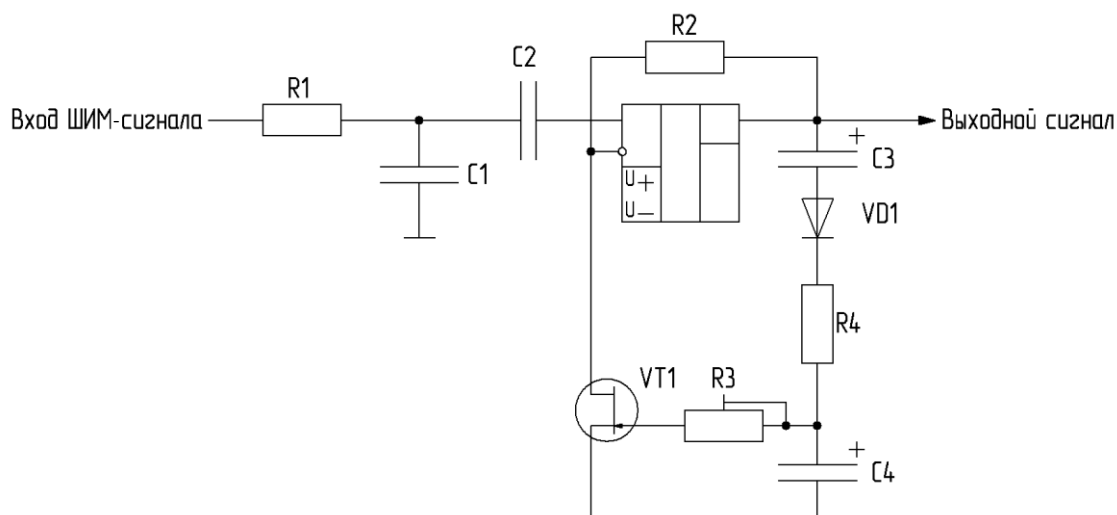


Рис. 4. Схема детектора ШИМ-сигнала и выходного усилителя

Каждая из обозначенных функций реализуется отдельной подпрограммой управляющего алгоритма микроконтроллера. Требуемая функция выбирается внешней командой управления.

Физически эта функция будет выполняться тумблером. Во время переключения тумблера работа микроконтроллера полностью прерывается и начинается вновь, ориентируясь по положению тумблера.

Программа начинает работу при поступлении питания и прекращает при отключении. Команд на прерывание процесса не предусмотрено. Алгоритм программы представлен на рисунке 5.

Техника эксперимента. Алгоритмы работы программы проверялись в системе виртуального моделирования Algorithm Builder 5.44.

Функциональные блоки программы тестировались отдельно.

Интерпретация результатов. По результатам виртуальной симуляции максимальная частота, поддающаяся подсчету, составляет 128 МГц.

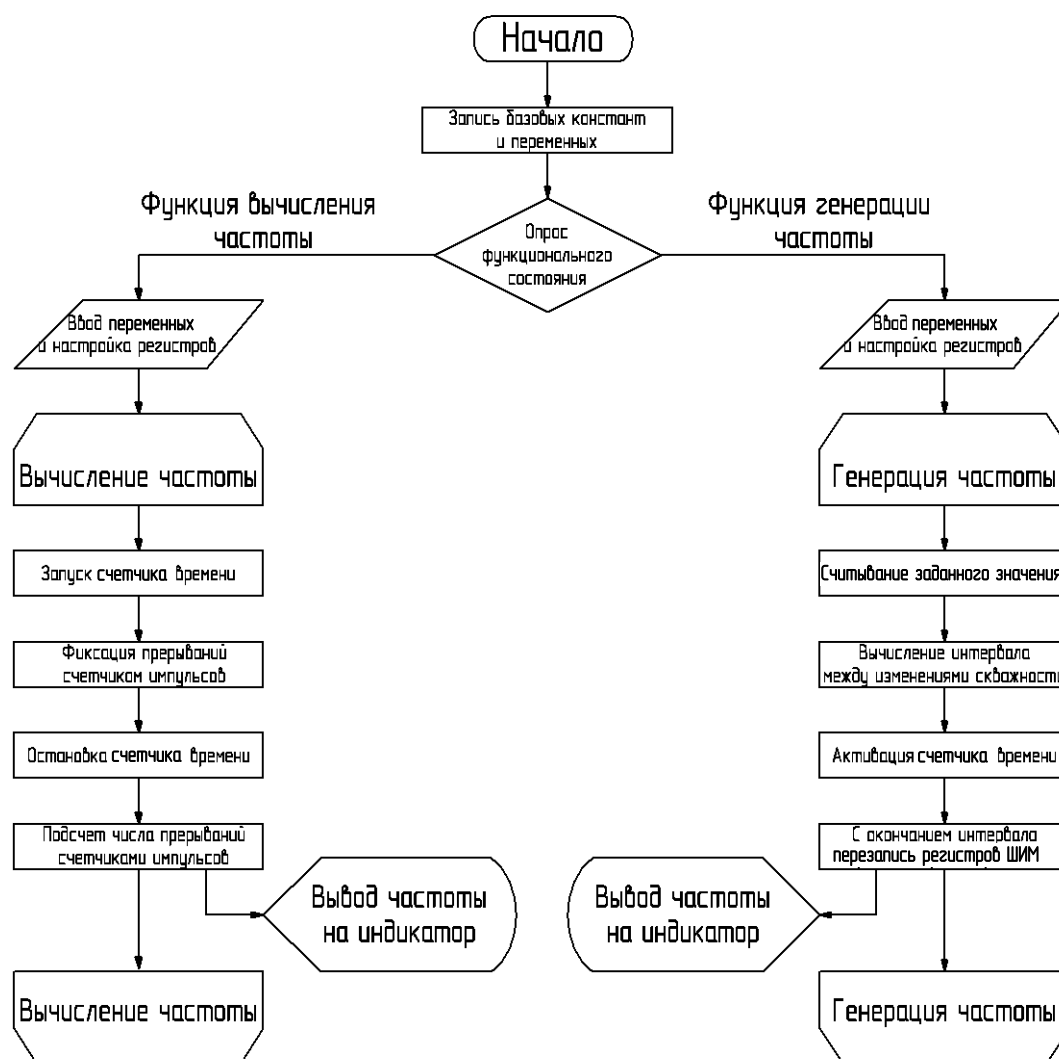


Рис. 5. Алгоритм работы программы

Выводы

Создана принципиальная схема многофункционального прибора радиолюбителя, а также разработан алгоритм программы, управляющей работой данного устройства.

Получены результаты виртуального моделирования работы устройства. Определены границы регистрируемых и генерируемых частот сигналов.

Список литературы

1. Reference manual. 8-bit Atmel with 8KByts In-System Programmable Flash / Atmel corporation. 2013. 331 с.
2. Таймеры счетчики микроконтроллеров AVR [Электронный ресурс]. URL <http://samou4ka.net/paje/tajmer-schetchik-mikrokontrollerov-avr> (дата обращения 21. 02. 2011).
3. Получение синусоидального сигнала при помощи ШИМ [Электронный ресурс] / URL: <http://avr-start.ru/?p=749> (дата обращения 09.05.2013).
4. Иванов Д.В., Иванов В.А., Чернов А.А. Теоретические основы метода прямого цифрового синтеза радиосигналов для цифровых систем связи // Вестник Поволжского государ-

ственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2012. № 1. С. 3-34.

5. Леухин В.Н., Егошин Ю.Ю. Леухин П.В. Вопросы технического диагностирования состояния силовых маслонаполненных трансформаторов методом высокочастотного зондирования // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2006. № 2. С. 13-15.

DEVRLOPEMANT OF A MULTIFUNCTIONAL DEVISE FOR RADIO AMATUR

Khannanov Andrey Maratovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

A variant of the multifunctional device for implementing the radio amateur practice. The device has the functions of the frequency meter and the harmonic signals generator. It was used method were used digital creating of the frequency as well as digital-to-analog frequency synthesis without feedback to adjust the frequency. It was developed an electric circuit diagram of the device and written a program for the microcontroller that controls the device.

Keywords: digital synthesis of the signal; frequency meter; pulse width modulation; programming micro-controllers

УДК 621.396.2:519.72

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ КОДОВЫХ КОМБИНАЦИЙ ЛИНЕЙНЫХ СИГНАЛОВ С ОГРАНИЧЕНИЕМ ЧИСЛА СЛЕДУЮЩИХ ПОДРЯД ОДИНАКОВЫХ СИМВОЛОВ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Чернышев Александр Юрьевич

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
ChernyshevAY@volgatech.net

Предлагается алгоритм синтеза алфавитов кодовых комбинаций линейных сигналов с учётом ограничения длины однородных фрагментов. Представлены эмпирические оценки объёмов алфавитов кодов. Показана возможность синтеза алфавитов кодовых комбинаций на основе кодовых масок и векторов совпадений, образующих дихотомические структуры.

Ключевые слова: код линии, многоуровневый относительный код, кодовая комбинация, алфавит кода, ограничение длины однородных фрагментов

Введение. Развитие современных проводных и кабельных, в том числе волоконно-оптических, цифровых систем передачи информации в первую очередь направлено на повышение скорости передачи [1]. В качестве линейных сигналов в таких системах, как правило, применяются так называемые коды линий (рис. 1), которые должны удовлетворять определённым требованиям [2]. В большинстве случаев наиболее важными из них являются безусловная однозначность преобразований информационных символов в элементы кода линии, достаточная высокая спектральная эффективность и наличие встроенных механизмов выделения или восстановления тактовой частоты. В работах [3, 4] показано, что, несмотря на кажущуюся противоречивость второго и третьего требований [5], в целом указанные условия могут быть соблюдены при использовании метода относительного кодирования и многоуровневых кодов линий с ограничением

числа следующих подряд одинаковых символов (или с ограничением длины однородных фрагментов). Основные положения метода относительного кодирования и требования к алфавитам кодов линий, в том числе необходимость соответствующей избыточности, определены в работе [6].



Рис. 1. Структура кабельной цифровой системы передачи и схема преобразования сигналов в ней (в скобках указаны функции сигналов различных уровней)

Оценки объёмов алфавитов кодов и собственно коды линий, представленные в работах [3, 4, 6], получены для конкретных условий применения и носят частный характер. Обобщённый алгоритм формирования алфавитов многоуровневых кодовых комбинаций с заданными свойствами отсутствует. Известны подобные алгоритмы, представленные в работах [7-10], только для двоичных кодов. В принципе на их основе можно синтезировать алгоритмы для произвольных кодов.

Цель работы – разработать алгоритм формирования алфавитов многоуровневых кодовых комбинаций с заданным ограничением длины однородных фрагментов.

Решаемые задачи: 1) разработать алгоритм формирования алфавитов кодовых комбинаций; 2) исследовать адекватность и быстродействие алгоритма; 3) оценить объёмы алфавитов кодов с заданными ограничениями длины однородных фрагментов.

Алгоритм формирования алфавитов кодовых комбинаций. Коды линий с ограниченной длиной однородных фрагментов характеризуются конструктивной длиной кодовых комбинаций N , объёмом алфавита кодовых символов M и допустимым числом следующих подряд одинаковых символов L . Очевидно, что при отсутствии ограничений на длину однородных фрагментов ($L=N$) объём алфавита кода, содержащего все возможные M -арные комбинации длиной N , равен $V=M^N$. В этих условиях формирование алфавита кода может выполняться тремя способами [7]:

- путём выборки из M^N всех возможных кодовых комбинаций только тех, которые не содержат однородных фрагментов длиной более L ;
- на основе метода префиксного кодирования путём последовательного добавления к более коротким префиксам допустимых символов;
- на основе масок кодовых комбинаций подстановкой разрешённых символов.

Как следует из результатов работы [10], при одних и тех же условиях наибольшим потенциальным быстродействием обладают алгоритмы, реализующие третий способ. Однако для их разработки и применения требуется знание соответствующих масок. В связи с этим более предпочтительным оказывается префиксное кодирование.

Алгоритм префиксного кодирования состоит из $N \geq 1$ последовательно выполняемых этапов. На первом этапе формируется первичный алфавит из M комбинаций длиной в один символ. При $L > 1$ контрольный параметр длины однородных фрагментов для каждой комбинации устанавливается равным 1. При $L=1$ формирование мас-

сива (вектора) контрольных длин не обязательно. Полученный первичный алфавит затем используется в качестве массива префиксов на втором этапе.

Второй и последующие этапы выполняются аналогично друг другу. На каждом этапе к каждому из префиксов добавляются все M или только $M-1$ символов так, чтобы длина однородных фрагментов в образующихся комбинациях не превышала L . При этом если добавляемый символ совпадает с последним символом префикса, то контрольный параметр длины образуется увеличением на 1 контрольного параметра префикса. Если добавляемый символ отличен от последнего символа префикса, значение контрольного параметра устанавливается в 1. При $L=1$ на основе каждого из префиксов формируется ровно $M-1$ кодовых комбинаций добавлением символов, отличных от последнего символа порождающего префикса.

Описанный алгоритм реализован в виде программ в среде математического моделирования MathCAD и в среде программирования Delphi (получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ). Анализ результатов формирования алфавитов кодовых комбинаций свидетельствует об адекватности алгоритма. Кроме того, определена возможность введения дополнительного ограничения количества синтезируемых комбинаций с учётом требуемой избыточности алфавита. По быстродействию (по крайней мере, с точки зрения числа элементарных операций) разработанный алгоритм при формировании двоичных кодов не уступает быстрым алгоритмам, описанным в работах [9, 10].

Оценка объёмов алфавитов кодовых комбинаций. С помощью разработанных программ, реализующих метод префиксного кодирования, получены эмпирические оценки объёмов алфавитов кодов с заданными свойствами. Они полностью совпадают с частными оценками, приведёнными в [3, 4]. Некоторые оценки представлены в табл. 1.

Таблица 1

Объёмы алфавитов многоуровневых кодов с ограниченной длиной однородных фрагментов

N/L	$M=2$	$M=3$	$M=4$	$M=5$	$M=6$	$M=7$	$M=8$	$M=9$	$M=10$
1/1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2/1	2	6	12	20	30	42	56	72	90
2/2	4	9	16	25	36	49	64	81	100
3/1	2	12	36	80	150	252	392	576	810
3/2	6	24	60	120	210	336	504	720	990
3/3	8	27	64	125	216	343	512	729	1000
4/1	2	24	108	320	750	1512	2744	4608	7290
4/2	10	66	228	580	1230	2310	3976	6408	9810
4/3	14	78	252	620	1290	2394	4088	6552	9990
4/4	16	81	256	625	1296	2401	4096	6561	10000

Как видно из табл. 1, алфавиты многоуровневых кодов с $L=1$ при произвольных значениях N и M имеют объём, определяемый выражением

$$V(M, N, 1) = M(M-1)^{N-1}. \quad (1)$$

При отсутствии ограничений на длину однородных фрагментов ($L=N$) алфавиты кодов включают все возможные комбинации длиной N . Их объёмы составляют

$$V(M, N, N) = M^N. \quad (2)$$

Также достаточно просто определяются объёмы алфавитов кодов с $L=N-1$, для которых

$$V(M, N, N-1) = M^N - M. \quad (3)$$

В общем случае алфавит многоуровневого кода с произвольной величиной L складывается из кодовых комбинаций, в которых либо вообще нет однородных фрагментов, либо их длины лежат в допустимых пределах. Тогда объём алфавита произвольного кода можно определить, например, в виде суммы

$$V(M, N, L) = \sum_{k=1}^L C(M, N, k), \quad (4)$$

где $C(M, N, Q)$ – количество кодовых комбинаций с длиной однородных фрагментов Q . Аналитические выражения для расчёта некоторых $C(M, N, Q)$ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Выражения для оценки числа комбинаций с определённой длиной однородных фрагментов Q

$Q \backslash N$	$N=1$	$N=2$	$N=3$	$N=4$	$N=5$	$N=6$
$Q=1$	M	$M(M-1)$	$M(M-1)^2$	$M(M-1)^3$	$M(M-1)^4$	$M(M-1)^5$
$Q=2$	–	M	$2M(M-1)$	$3M(M-1)^2 + M(M-1)$	$4M(M-1)^3 + 3M(M-1)^2$	$5M(M-1)^4 + 6M(M-1)^3 + M(M-1)^2$
$Q=3$	–	–	M	$2M(M-1)$	$3M(M-1)^2 + 2M(M-1)$	$4M(M-1)^3 + 6M(M-1)^2 + M(M-1)$
$Q=4$	–	–	–	M	$2M(M-1)$	$3M(M-1)^2 + 2M(M-1)$
$Q=5$	–	–	–	–	M	$2M(M-1)$

Очевидно, что с увеличением N расчётные выражения существенно усложняются за счёт появления новых слагаемых. Причём коэффициенты при всех слагаемых определяются независимо от M в виде сложных сочетаний «комбинаций из n по k », что подтверждается аналогичными результатами, приведёнными в работе [10]. Следует отметить, что приведённые в табл. 1 и в работах [3, 4] оценки объёмов носят эмпирический характер, т.к. определены по фактически сформированным алфавитам кодовых комбинаций. В то же время имеется потребность в полном наборе аналитических выражений, аналогичных (1)-(3), для получения априорных оценок. Перспективным в этом плане можно считать использование масок кодовых комбинаций, получаемых на основе дихотомического представления деревьев кодов.

Принцип представления алфавитов кодов на основе обобщённых масок. Детальный анализ механизма префиксного формирования алфавитов кодов на уровне деревьев кодов показывает, что независимо от M все возможные кодовые комбинации можно разделить на группы, описываемые общими масками. Маски образуются по принципу совпадения текущего и предыдущего символов комбинаций. Иерархическое дерево масок в итоге имеет явно выраженную дихотомическую структуру. При этом каждой маске соответствуют определённое выражение для оценки числа фактических комбинаций и двоичный вектор совпадений символов. Данный вывод справедлив для любых N . Результаты анализа для N от 1 до 4 представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Маски кодовых комбинаций, соответствующие им векторы совпадений
и выражения для оценки фактического количества кодовых комбинаций**

Маски кодовых комбинаций (в скобках указаны длины однородных фрагментов)				Векторы совпадений (в скобках указаны длины однородных фрагментов и веса Хэмминга векторов)				Расчётные выражения для оценки числа комбинаций			
N=1	N=2	N=3	N=4	N=1	N=2	N=3	N=4	N=1	N=2	N=3	N=4
X (1)	XY (1)	XYX (1)	XYXY (1)	0 (1; 0)	00 (1; 0)	000 (1; 0)	0000 (1; 0)	M	M(M-1)		M(M-1) ³
			XYXX (2)				0001 (2; 1)				M(M-1) ²
		XYX (2)	XYXX (2)			001 (2; 1)	0010 (2; 1)			M(M-1)	M(M-1) ²
			XYXX (3)				0011 (3; 2)				M(M-1)
		XX (2)	XXXY (2)			010 (2; 1)	0100 (2; 1)			M(M-1)	M(M-1) ²
			XXXY (2)				0101 (2; 2)				M(M-1)
	XX (2)	XXX (3)	XXXX (3)		01 (2; 1)	011 (3; 2)	0110 (3; 2)		M	M	M(M-1)
			XXXX (4)				0111 (4; 3)				M

Видно, что количество комбинаций W_i , соответствующих i -й маске, определяется весом Хэмминга h_i соответствующего вектора совпадений согласно выражению

$$W_i = M(M-1)^{N-h_i}. \quad (5)$$

Тогда количественные параметры $C(M, N, Q)$, используемые в выражении (4), с учётом формулы (5) можно определить суммой вида

$$C(M, N, Q) = \sum_{k=0}^{N-Q} A(N, Q, k) \cdot M(M-1)^k,$$

где коэффициенты $A(N, Q, k)$ фактически определяют число масок, соответствующих базовому количественному слагаемому $M(M-1)^k$, при заданных N и Q . Такой подход при знании коэффициентов $A(N, Q, k)$ позволяет априорно оценить потенциальный объём алфавита кода и, следовательно, целесообразность его формирования, что очень важно при достаточно больших значениях N и M .

Выводы

В рамках исследования разработан алгоритм формирования алфавитов кодовых комбинаций многоуровневых линейных сигналов с ограниченной длиной однородных фрагментов. На его основе составлены программы формирования алфавитов кодов с заданными свойствами в среде MathCAD и в среде Delphi.

С помощью разработанных программ получены эмпирические оценки объёмов алфавитов кодовых комбинаций с заданными свойствами.

Показаны возможности приведения деревьев любых кодов к дихотомической структуре на основании учёта совпадений смежных символов и представления кодовых комбинаций обобщёнными масками. Получены выражения для оценки количества кодовых комбинаций, соответствующих произвольным маскам, на основе двоичных векторов совпадений символов.

Список литературы

1. Мешковский К.А., Сторожук Н.Л. Инновационные тенденции развития кабельных цифровых систем передачи // Электросвязь. 2005. № 9. С. 32-35.
2. Воловцов А.В. От тактовой частоты до информационной магистрали // Сети и системы связи. 1999. № 9. С. 38-48.
3. Чернышев А.Ю., Шибанаев В.Г. Обеспечение тактовой синхронизации в цифровых системах передачи на основе многоуровневых кодов с внутренней избыточностью // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2013. № 2. С. 36-42.
4. Багракова М.И., Чернышев А.Ю. Обеспечение тактовой синхронизации в цифровых системах передачи на основе относительных многоуровневых кодов линий // Телекоммуникации. 2014. № 1. С. 23-30.
5. Гольдштейн Б.С. Протоколы сети доступа. М.: Радио и связь, 2001. 292 с.
6. Чернышев А.Ю. Синхронизация многоуровневых кодов линий передачи // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2009. № 2. С. 13-21.
7. Beenker G.F. M., Immink K.A. S. A generalized method of encoding and decoding run-length-limited binary sequences // IEEE Transactions on Information Theory. 1983. Vol. 29, № 3. P. 751-754.
8. Datta S., McLaughlin S.W. An enumerative method for runlength-limited codes: permutation codes // IEEE Transactions on Information Theory. 1999. V. IT-45, № 6. P. 2199-2204.
9. Медведева Ю.С., Рябко Б.Я. Быстрый алгоритм нумерации слов с заданными ограничениями на длины серий единиц // Проблемы передачи информации. 2010. Т. 46, № 4. С. 130-139.
10. Медведева Ю.С. Быстрый алгоритм нумерационного кодирования для основных задач теории информации // Вестник СибГУТИ. 2013. № 4. С. 83-105.

ALGORITHM FOR FORMING LINE SIGNAL CODEWORDS WITH A LIMITED NUMBER OF CONSECUTIVE IDENTICAL CHARACTERS FOR DIGITAL COMMUNICATION SYSTEMS

Chernyshev Alexandr Yurievich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

An algorithm for synthesizing the line signal codeword alphabets with the homogeneous fragments length limitation is offered. There are the empirical assessments of the code alphabets volumes. It is demonstrated that the codeword alphabets synthesis based on codeword masks and vector matches that form the dichotomous structures is possible.

Keywords: *line code, multilevel relative code, codeword, code alphabet, homogeneous fragment length limitation*

УДК 53.087.47

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА НА ПОВЕРХНОСТИ РЕЗИСТОРА

Шабдаров Евгений Васильевич, Леухин Владимир Николаевич

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
leuhinvn@volgatech.net

Предлагаются метод и средства, а также рекомендации для исследования электроискрового воздействия на резистивную пленку. Сконструирована автоматизированная установка для исследования распределения потенциала на поверхности резистора.

Ключевые слова: пленочный резистор, электроискровое воздействие, электрический потенциал, функциональная характеристика, эквипотенциальные линии

Введение. Исследование поверхности пленочных элементов представляется важной задачей в фундаментальной науке, а также с точки зрения возможности создания принципиально новых пленочных приборов. Это связано с тем, что при уменьшении размеров резистивных элементов микросхем процессы на поверхности играют все большую роль в их электрофизических характеристиках.

Развиваемый на кафедре конструирования и производства радиоаппаратуры ПГТУ в течение длительного времени метод электроискровой подгонки обеспечивает двунаправленное изменение величины сопротивления толстопленочных резисторов без разрушения пленочной структуры. Однако при этом остается открытым вопрос о распределении электрического потенциала по всей площади резистора с целью применения корректировки пленочных резисторов [1, 2].

Корректировка пленочных резисторов, применяемых в качестве переменных резисторов, необходима для восстановления линейности функциональной характеристики, которая искажается при воздействии электрической искрой. Функциональная характеристика показывает зависимость потенциала от координат на поверхности резистора и может быть представлена посредством эквипотенциальных линий, т.е. линий с одинаковым потенциалом.

Цель работы – выбрать метод, сконструировать установку, а также исследовать влияние электроискрового воздействия на распределения электрического потенциала по поверхности резистора с выводом соответствующих рекомендаций по поддержанию линейности функциональной характеристики.

Решаемые задачи: 1) выбор метода для измерения электрического потенциала на поверхности резистивной пленки; 2) разработка установки для автоматизированного исследования распределения потенциала по поверхности резистивной пленки; 3) исследование распределения потенциала по поверхности резистивной пленки вследствие электроискрового воздействия; 4) выявление рекомендаций по исследованию распределения потенциала и сохранения линейности функциональной характеристики.

Техническое моделирование. Для обработки результатов исследования влияния электроискрового воздействия на распределение электрического потенциала по поверхности резистивной пленки применялось программное преобразование числовых данных в графический вид. Использовалась программа MathCad 14.

Техника эксперимента. Для измерения электрического потенциала по поверхности резистивной пленки был выбран однозондовый метод. Данный метод позволяет просканировать всю площадь резистивной пленки, а также определить сопротивление контактов (рис. 1). Отличие этого метода от других в том, что он позволяет измерить потенциал в любой точке поверхности, а система измерения, состоящая из одного зонда, дает возможность просканировать резистивную подложку любых размеров [3, 4].

Основными составляющими этого метода являются зонд 3, вольтметр V , амперметр A , источник опорного напряжения E .

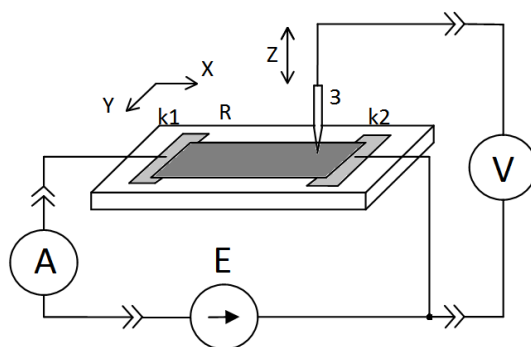


Рис. 1. Однозондовый метод измерения

Резистор R перемещается относительно зонда 3 по осям X и Y . Зонд 3 перемещается по оси Z . Источник опорного напряжения выдает стабилизированное напряжение, равное 1 В. Амперметр A и вольтметр V необходимы для измерения действующих значений соответствующих для них величин, а также для перехода от электрического потенциала к удельному поверхностному сопротивлению.

Для исследования распределения электрического потенциала по поверхности резистивной пленки была разработана установка, функциональная схема которой представлена на рисунке 2.

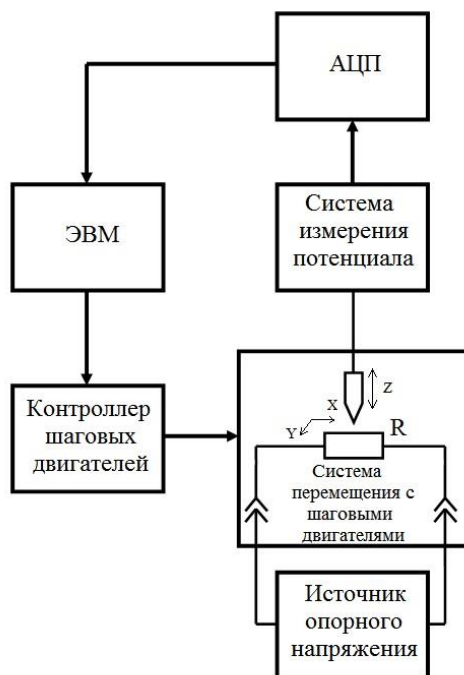


Рис. 2. Установка для исследования резистивной пленки

Данная установка позволяет автоматически измерять электрический потенциал и записывать значения в ЭВМ. Система перемещения содержит шаговые двигатели для дискретного перемещения пленочного резистора относительно зонда. Шаговые двигатели управляются ЭВМ посредством контроллера шаговых двигателей. Измеренный потенциал преобразуется аналогово-цифровым преобразователем и передается в ЭВМ. Данные автоматически сохраняются в блокнот.

Интерпретация результатов. Для обработки результатов эксперимента используется программа MathCad 14. Она позволяет представить полученные результаты в удобном для анализа графическом виде (рис. 3). На рисунке показаны хорошие характеристики резистора, который не подвергался электрическому воздействию.

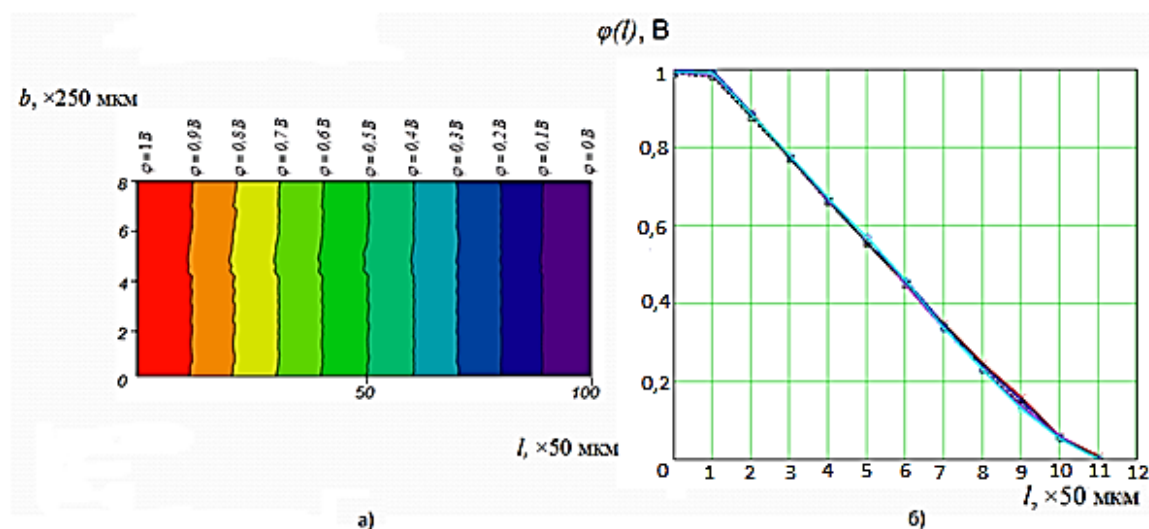


Рис. 3. Результаты исследования:

а) эквипотенциальные линии; б) функциональная характеристика

Данные получены при исследовании резистивной подложки Б19М2, резистивный материал которой изготовлен из оксида рутения.

На рисунке 4 показаны области искажения эквипотенциальных линий для различных случаев. Особые искажения вызывают такие факторы, как грязь, царапины, сколы и т. д.

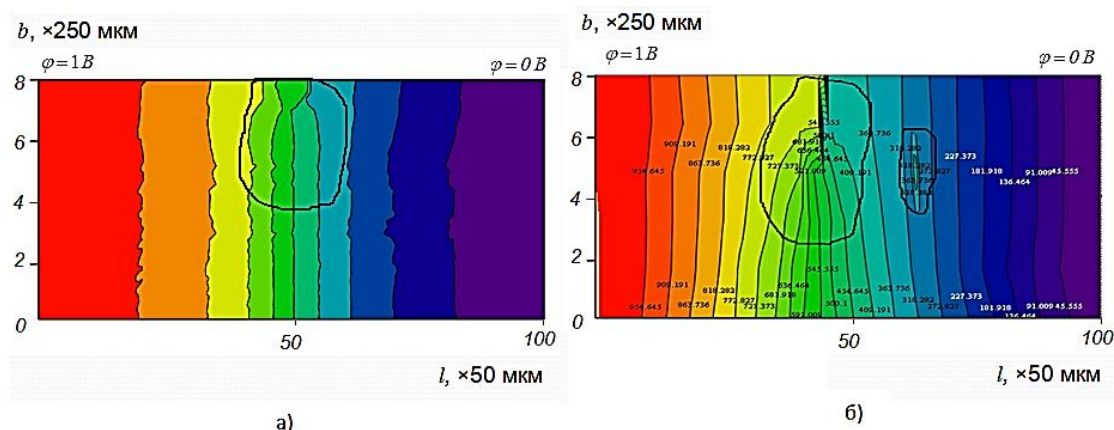


Рис. 4. Результаты исследования:

а) после подгонки; б) в случае загрязнения резистивной пленки

После подгонки наблюдается изменение рельефа поверхности резистивного слоя. На рисунке 5б изображен участок поверхности после подгонки в сторону уменьшения сопротивления. После данного типа подгонки происходит увеличение размеров зерен примерно в 10-15 раз, в зависимости от степени воздействия электрической искрой.

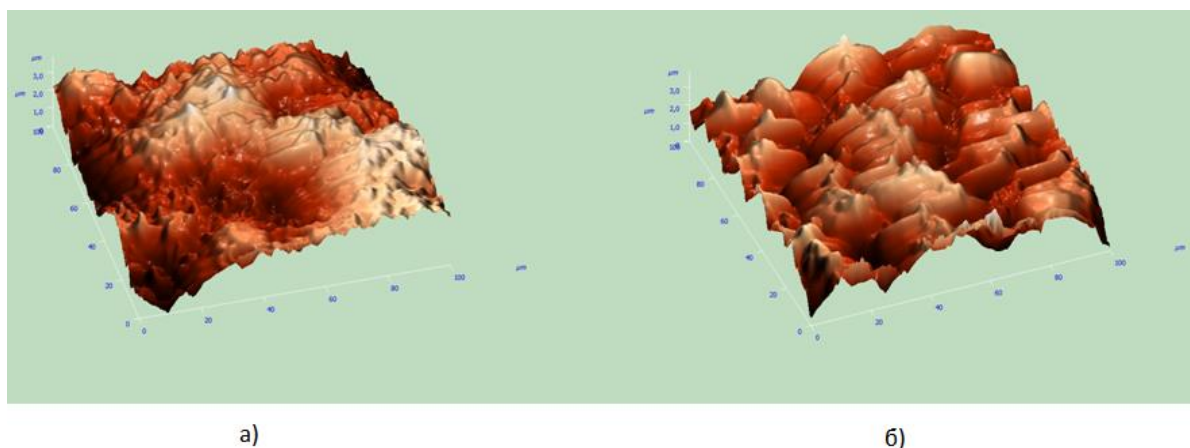


Рис. 5. Сканирование пленки зондовым микроскопом:
а) до подгонки; б) после подгонки

В связи с вышеизложенным выработаны следующие **рекомендации**.

Для исследования необходимо использовать стабилизированный источник опорного напряжения, выдающий 1 В на выходе. Напряжение 1 В позволяет упростить переход от электрического потенциала к удельному сопротивлению.

Система сканирования должна обеспечивать точность 5 мкм для детального сканирования резистивной пленки.

Поверхность резистивного слоя должна быть чистой и без механических повреждений, так как это приводит к искажениям параметров при исследовании.

С целью сохранения линейности функциональной характеристики необходимо повторное воздействие электрической искрой в том месте, где наблюдается искажение эквипотенциальных линий. Электроискровое воздействие должно быть направлено поперек направления распределения электрического потенциала. Воздействие должно быть обратно пропорционально потенциалу, т.е. если в какой-то точке потенциал высокий, его необходимо понизить соответствующей электрической искрой и наоборот.

Выполнение вышеперечисленных рекомендаций позволяет подгонять переменный резистор с сохранением линейности функциональной характеристики.

Выводы

1. Выбран однозондовый метод для измерения электрического потенциала на поверхности пленочного резистора.
2. Сконструировано и изготовлено устройство для автоматического сканирования резистивной пленки.
3. Исследовано распределение электрического потенциала по поверхности резистивной пленки.
4. Даны рекомендации по исследованию и поддержанию линейности функциональной характеристики.

Список литературы

1. Нагаев А.А. Влияние электроискровой подгонки на распределение электрических полей в пленочном резисторе // Технические науки: проблемы и перспективы: международ. научн. заочн. конф. Санкт-Петербург. 2011. С. 117–120.
2. Николаев Д.А. Исследование влияния электроискровой подгонки на распределение электрических полей в пленочном резисторе // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: труды Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 2011. Т. 1. С. 10–15.
3. Воробьев Ю.В., Добровольский В.Н., Стриха В.И. Методы исследования полупроводников. Киев: Высш. шк., 1988. 232 с.
4. Леухин В.Н., Нагаев А.А. Анализ применимости электроискровой подгонки для корректировки функциональной характеристики пленочных резистивных элементов // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2009. № 3. С. 51–59.

INFLUENCE OF THE ELECTRO – SPARK IMPACT RESEARCH WORK ON DISTRIBUTION OF ELECTRIC POTENTIAL ON RESISTOR'S SURFACE

Shabdarov Evgenyi Vasilevich, Leuhin Vladimir Nikolaevich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The method and tools are offered, as well as recommendations are for electro-spark impact research on film resistor surface. The automated equipment is designed for potential distribution research on a resistor's surface.

Keywords: *film resistor, electric spark impact, electric potential, functional characterization, equipotential lines*

ТРАНСПОРТ. ЭНЕРГЕТИКА. МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 631.53.027.34

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ПОДГОТОВКИ СЕМЯН

Богатырев Максим Дмитриевич, Романов Василий Юрьевич

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
bogatyrevmd@volgatech.net

Предлагается компактная электрическая установка для предпосевной подготовки семян. В качестве источника ультрафиолетового излучения выступает лампа ДРТ-400. Она обладает мощным источником ультрафиолетового излучения в зоне УФ-А и В среди известных ламп и отличается среди источников УФ-излучения наибольшим сроком службы и стабильностью работы. Использование данной лампы позволяет изготовить установку с заданной производительностью.

Ключевые слова: электрическая установка, классификация способов предпосевной подготовки, ультрафиолетовое излучение

Введение. В настоящее время предпосевную подготовку семян условно можно свести к четырем основным направлениям: выделение биологически ценных семян; оздоровление семян; активизация ростовых процессов в семенах; насыщение семян удобрениями. В практике ведения лесного хозяйства наиболее распространенными способами подготовки семян к посеву являются стратификация, намачивание, обработка семян микроэлементами, а также активаторами и стимуляторами роста, термическое воздействие, скарификация, дезинфекция и дезинсекция.

Таким образом, в целях стимулирования массового прорастания семян и повышения грунтовой всхожести в основном применяют разнообразные механические, термические, термохимические и химические методы предпосевной подготовки, направленные на преодоление глубокого или вынужденного семенного покоя, эффективность действия которых зависит от видовых и биологических особенностей семян, от типа покоя и тщательности соблюдения рекомендуемых условий подготовки. Эти методы труда и энергоемки, и не всегда экологически чисты [1]. Таким образом, исследования, направленные на повышение производительности лесных земель интенсификацией выращивания посадочного материала с помощью предпосевного электротехнологического облучения семян деревьев и кустарников, имеют большую научную и практическую перспективу.

Цели работы: 1) спроектировать, рассчитать и изготовить электрическую установку для предпосевной подготовки семян; 2) подобрать мощный и надежный источник ультрафиолетового излучения.

Решаемые задачи: 1) изготовление, монтаж, наладка и испытание электрической установки для предпосевной подготовки семян; 2) расчет дозы УФ-облучения при передвижении транспортера электроустановки; 3) измерение УФ-излучения от лампы ДРТ-400 вдоль и поперек нее.

Анализ литературных источников. Наиболее изучены следующие электротехнологические способы предпосевной обработки семян [2]:

- электрическое поле коронного разряда (Челябинская государственная агроинженерная академия). Одним из недостатков метода использования электромагнитных воздействий для подготовки семян является нестабильность получаемых результатов;
- лазерное излучение (Московский государственный университет леса). Недостатком способа является сложность получения всеми обрабатываемыми семенами заданной эффективной дозы обработки, что существенно снижает качество и эффективность собственно самой обработки;
- ионизирующее излучение (Марийский государственный технический университет). Гамма-облученные семена в дозах, вызывающих стимуляцию их развития, испускают вторичное, биогенное, когерентное излучение малой интенсивности с длинами волн, лежащих в области ультрафиолетового спектра;
- метод обработки семян электромагнитным излучением СВЧ- и КВЧ-диапазонов (Татарская лесная опытная станция). К недостаткам метода следует отнести низкую производительность, обусловленную, во-первых, длительным временем облучения семян, а во-вторых, затуханием волны при прохождении излучения через слой семян.

Известна также эффективность предпосевной обработки семян инфракрасным излучением, градиентным магнитным полем и ультрафиолетовым излучением, которое, по данным Центрального научно-исследовательского и проектно-технологического института механизации и электрификации животноводства, обеспечивает повышение урожая зерновых культур на 10...12 %, увеличение содержания протеина в зеленой массе кукурузы на 6...10 %, сахаров – на 12...16 % [5].

Из всех перечисленных методов предпосевная обработка УФ-излучением семян является простым, энергоэкономичным и экономически обоснованным способом.

Результаты исследований влияния предпосевной ультрафиолетовой обработки семян. В настоящее время доказано, что почти все бактерии могут быть уничтожены или ослаблены УФ-излучением (рис. 1) определенных длин волн; кроме того, при этом стимулируется рост и развитие растений [4].

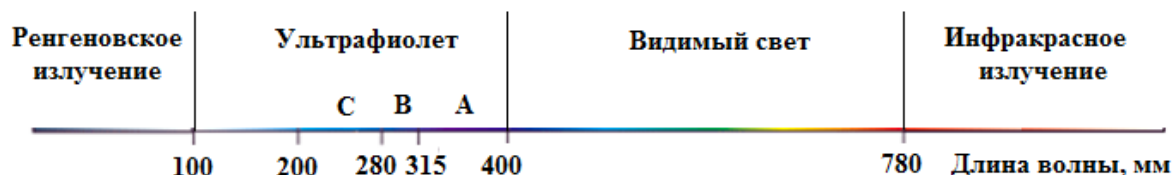


Рис. 1. Ультрафиолет в спектре электромагнитного излучения

УФ-излучение разделяют на три области (см. рис. 1). УФ-С обладает сильным бактерицидным излучением. Этот диапазон используют для обеззараживания воды, воздуха, тары и других материалов и поверхностей.

УФ-В считается зоной сильного биологического действия. В этом диапазоне работают установки эритемного (витального) облучения, которые стимулируют и лечат живые организмы.

УФ-А – зона эффективной люминесценции. Это излучение используется для люминесцентного анализа.

Рядом экспериментов доказано, что УФ-излучение области УФ-С обладает отчетливым угнетающим действием. Характер действия на растения УФ-радиации областей «А» и «В» зависит от дозы.

Таким образом, анализ литературных источников показывает, что предпосевная обработка семян УФ-излучением значительно увеличивает их энергию прорастания и всхожесть, ускоряет созревание растений, повышает урожайность и качество продукции, вследствие чего находит все большее применение в комплексе прочих агротехнических мероприятий. Кроме того, ультрафиолетовый способ облучения семян дешев, высокопроизводителен, энергоэкономичен, экономически оправдан.

В настоящее время в базе данных Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатент) находится 209 объектов интеллектуальной собственности, посвященных техническим решениям электрофизиологической предпосевной обработки семян, в том числе в реестре изобретений насчитывается 110 заявок на устройства и установки и 82 заявки на способы воздействия, в реестре полезных моделей 17 заявок. В реестре промышленных образцов патентов, посвященных предпосевной обработке семян, нет.

С 2003 по 2013 год в реестре изобретений опубликовано 8 патентов с источником УФ-излучения, а также 5 патентов на полезную модель и 4 патента на плазматрон, в спектре излучения которого, как и в отдельных лазерных установках, присутствует ультрафиолет.

Большой интерес вызывает действующий патент на полезную модель А.А. Новожилова и М.А. Абросимовой, в котором в качестве источника излучения предлагается светодиод (тип не указан), но, к сожалению, в настоящее время УФ-А светодиоды не обходимой для облучения семян большой мощности промышленно не выпускаются. Таким образом, в современных условиях наиболее востребованными являются ртутные лампы высокого давления типа ДРТ.

Техника эксперимента и изложение полученных результатов. Для анализа рассмотрим работу установки транспортерного типа с дискретным перемещением порции семян и с автоматической коррекцией дозы ультрафиолетового облучения.

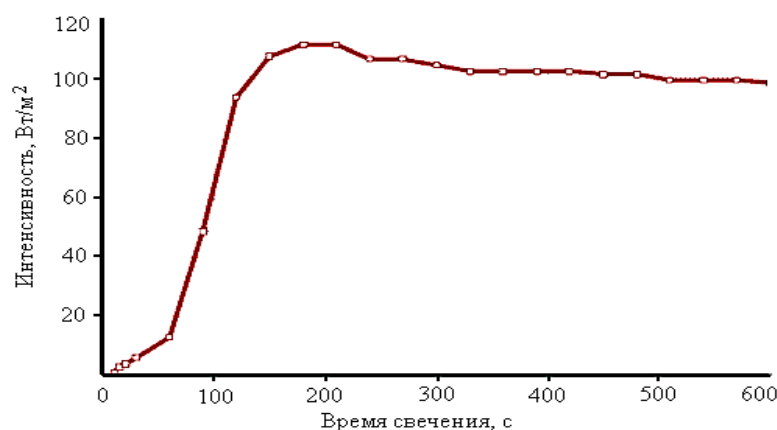


Рис. 2. Зависимость интенсивности излучения лампы ДРТ-400 от времени работы

Облучение семян проводилось лампой типа ДРТ 400, так как она обладает мощным источником ультрафиолетового излучения в зоне УФ-А и В среди известных ламп и отличается среди источников УФ-излучения наибольшим сроком службы и стабильностью работы (рис. 2).

Использование одной лампы ДРТ 400 позволяет выполнить установку с заданной производительностью 0,6 кг/ч. Распределение УФ-излучения от источника ДРТ 400 на рабочей поверхности транспортера установки, где непосредственно происходит процесс облучения семян, измерялось прибором ТКА-01/3, который имеет следующие технические характеристики: спектральный диапазон чувствительности 250... 400 нм; пределы измерений в диапазоне УФ-излучения 1...200000 мВт/м²; погрешность измерений в зоне УФ-излучения не более 10...14%; питание прибора осуществляется от источника типа «Крона»; потребляемый ток не более 1,5 мА; рабочий диапазон температур 0...500 °С. Для создания необходимой длины волны зоны УФ-А применялся светофильтр УФС-3. Результаты измерений УФ-излучения от лампы ДРТ 400 вдоль и поперек нее приведены на рис. 3.

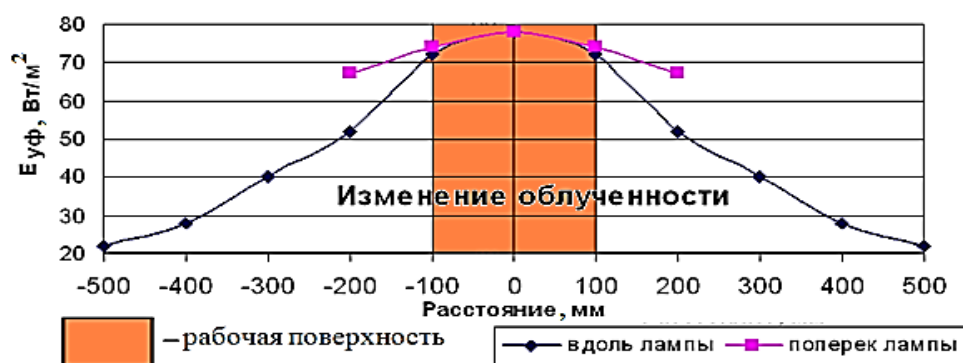


Рис. 3. Кривые УФ-облученности

В установке, работающей по описанному выше принципу, время облучения складывается из двух составляющих: времени передвижения $t_{\text{пер}}$ семян на транспортере под источником излучения и времени выдержки $t_{\text{выд}}$ семян под источником излучения. Формула для определения времени облучения примет вид $t = t_{\text{выд}} + t_{\text{пер}}$. Следовательно, доза, которую получают семена за один цикл работы установки, также будет состоять из двух частей $H = H_{\text{выд}} + H_{\text{пер}}$, где $H_{\text{выд}}$ – доза, которую семена получают за $t_{\text{выд}}$; $H_{\text{пер}}$ – доза за $t_{\text{пер}}$.

Скорость перемещения транспортера в установке постоянна и составляет $V = 0,01$ м/с. Расстояние, которое проходят семена, подвергаясь облучению, составляет $2 \cdot L = 0,2$ м (рис. 4).

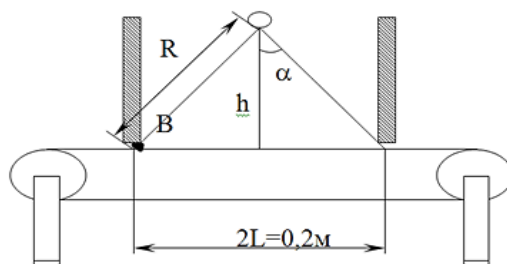


Рис. 4. Расчет дозы УФ-облучения при передвижении транспортера

Угол (α) между нормалью ($h = 0,35$ м), проходящей через источник излучения к поверхности транспортера, и прямой (R), соединяющей крайнюю точку зоны облучения, варьирует от 0 до 16 градусов.

Согласно основному закону светотехники, облученность от источника в точке «В» (рис. 4) на плоскости составит (Вт/м^2):

$$E = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha}{h^2},$$

где I_{α} – сила излучения на плоскости под углом α от нормали; α – угол между нормалью к плоскости и расстоянием R ; h – расстояние между источником излучения и плоскостью облучения по нормали (высота подвеса лампы).

Выводы

1. Проведен анализ существующих технологий и типов электроустановок для предпосевной обработки семян.

2. Спроектирована, рассчитана и изготовлена электрическая установка с мощным и надежным источником ультрафиолетового излучения (УФ-лампа ДРТ-400).

3. Произведен расчет дозы УФ-облучения при передвижении транспортера электроустановки.

4. Проведено измерение УФ-излучения от лампы ДРТ-400 вдоль и поперек нее.

К сожалению, при всех достоинствах лампа ДРТ 400 – очень неэффективный источник излучения. Лишь не более 5% ее энергии переходит в УФ-излучение, остальное – в тепло и очень интенсивный видимый свет, что требует специальной защиты, а для создания необходимой длины волны применяется светофильтр. При этом лампа очень сильно нагревается в процессе работы, выделяя много тепла. Все УФ-лампы быстро «выгорают» и теряют мощность излучения. До какого-то времени интенсивность излучения можно компенсировать увеличением их мощности (и, как следствие, увеличением потребления энергии). Ртутные лампы высокого давления долго разогреваются, и их нельзя включать сразу после выключения, что усложняет продолжение работы после незапланированных остановок. Кроме того, УФ-лампы имеют громоздкий дроссельный механизм запуска, невысокую среднюю продолжительность горения (2700 часов у ДРТ 400 и 5000 часов у ЛЭ-30) и низкочастотную пульсацию света, что создает угрозу здоровью обслуживающего персонала.

Список литературы

1. Патент № 54714, Российская Федерация, МПК А01С1/00. Устройство для предпосевной обработки семян / Владыкин И.Р., Кондратьева Н.П.; заявители и патентообладатели И.Р. Владыкин, Н.П. Кондратьева. № 2006105078/22; заявл. 17.02.2006; опубл. 27.07.2006.

2. Влияние ультрафиолетового облучения на повышение посевных качеств семян хвойных пород / В.С. Украинцев [и др.] // Вестник Удмуртского университета. Сер. 6: Биология. Науки о Земле. Вып. 1. Ижевск: УдГУ, 2011. С. 132-137.

3. Патент № 2278492, Российская Федерация, МПК А01С1/00. Устройство для предпосевной обработки семян оптическим излучением / Газалов В.С., Пономарева Н.Е.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО АЧГАА. № 2004129357/12; заявл. 10.03.2006; опубл. 27.06.2006.

4. Патент № 2390117, Российская Федерация, МПК А01С1/00. Способ предпосевной обработки семян сосны обыкновенной / Беляков М. В., Рыбкина С. В.; заявители и патентообладатели М. В. Беляков, С. В. Рыбкина. № 2006143121/13; заявл. 05.12.2006; опубл. 27.05.2010.

5. ГОСТ 13056.6-75. Семена деревьев и кустарников. Методы определения всхожести. М.: Изд-во стандартов, 1986. 39 с.

6. Богатырев М. Д., Корепанов Д. А. Технология предпосевной подготовки семян // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 1. С.44–54.

ELECTRICAL PLANT FOR PRESOWING PREPARATIONS OF SEEDS

Bogatyrev Maksim Dmitrievich, Romanov Vasilii Yrievich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Compact electrical plant of this method is given here. The lamp DRT-400 is the source of ultraviolet radiation. It has a powerful source of UV-radiation in A and B zones among known lamps and differs in service life and stabilized work. Using this lamp permits to produce the plant with given capacity.

Keywords: *electrical plant, classification of presowing preparation, ultraviolet radiation*

УДК 539.3/.6

К ТЕОРИИ ИЗГИБА КОНСОЛЬНОЙ БАЛКИ

Боярский Михаил Владимирович¹, Никитина Надежда Михайловна²

¹ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола

²ФГБОУ ВПО «Марийский государственный университет», Россия, Йошкар-Ола
BoyarskijMV@volgatech.net

Предложено расширить сферу применения теории изгиба консольной балки. Рассмотрено влияние размерного фактора на величину прогибов консольной балки. Используются методы математического моделирования и статического равновесия систем. Установлены две причины влияния размерного фактора.

Ключевые слова: *модуль упругости, консольная балка, изгиб, прогибы, параметры испытаний, размерный фактор*

Введение. В связи с целенаправленным лесовосстановлением [1-3] возобновился интерес к вибрационному методу экспериментального определения модуля упругости (МУ) древесины на образцах в виде консольной балки (КБ) для прогнозирования физико-механических свойств растущих деревьев по результатам неразрушающих испытаний малых образцов, взятых от их ветвей. Эти образцы отличаются большим разнообразием формы и размеров, что заставляет учитывать влияние размерного фактора (РФ) в виде отношения длины консоли l к высоте сечения h на расчетную величину МУ, выявленное В.А. Баженовым [4]. Это влияние проявилось в том, что «динамический МУ резко падает в сторону малых отношений (l/h), начиная с $l/h = 25$, и обнаруживает тенденцию к незначительному падению и в сторону больших отношений, начиная примерно с $l/h = 75$. Аналогичная зависимость выявилась и при параллельных испытаниях тех же образцов на статический изгиб, причем выявилось практическое равенство обоих МУ для сравнительно больших значений l/h , а для малых отношений динамический МУ оказывается меньше статического».

Окончательный вывод В.А. Баженова: «... резкое падение МУ в деревянных образцах с малым отношением l/h не может быть объяснено теорией элементарного изгиба. Это кажущееся падение МУ ... происходит из-за неучета формулами влияния на деформацию консоли сложного напряженного состояния...».

Тем самым В.А. Баженов наметил общее направление поиска для объяснения влияния РФ на величину прогибов консоли путем учета сложного напряженного состояния материала балки.

Цель работы – поиск причин наблюдаемой зависимости (т.е. влияния РФ).

Решаемые задачи: анализ типовой расчетной схемы и формулы прогибов КБ:

1) выявление причин, лежащих в основе влияния РФ на величину прогибов и на расчетную величину МУ;

2) разработка предложений по уточнению расчетов.

Анализ исходных положений теории изгиба КБ.

Рассмотрим общеизвестную формулу прогибов [5, с. 355]:

$$y = \frac{M \cdot x^2}{2 \cdot E \cdot I} - \frac{P \cdot x^3}{6 \cdot E \cdot I}, \quad (1)$$

где y – наблюдаемый прогиб балки в любом контрольном сечении (КС); x – абсцисса КС; $M = P \cdot l$ – изгибающий момент; $E \cdot I$ – жесткость поперечного сечения; $\frac{Mx^2}{2 \cdot E \cdot I}$ –

прогиб от изгибающей реакции заделки; $\frac{Px^3}{6 \cdot E \cdot I}$ – прогиб от силовой реакции заделки, численно равный прогибу от силы P .

При $x \rightarrow l$ получаем максимальный прогиб на консольном конце (КК)

$$y_{\max} = \frac{P \cdot l^3}{2 \cdot E \cdot I} - \frac{P \cdot l^3}{6 \cdot E \cdot I} = \frac{P \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I}. \quad (2)$$

Анализ этой формулы выявляет ряд особенностей:

- используется разность прогибов вместо их суммирования;
- используются реакции заделки вместо активной нагрузки;
- учитываются прогибы только от нормальных напряжений изгиба;
- наблюдаемый прогиб $y_{\max}$ вдвое больше, чем расчетный от изгиба силой P .

К ним можно добавить еще одну: деформации поперечных сечений балок однозначно определяются напряжениями в них, а на величину наблюдаемых прогибов дополнительно влияют вид и положение опор.

Изучение этих особенностей в свете высказывания В. А. Баженова выявило два обстоятельства, ограничивающих сферу применения формулы (1):

- 1) отрыв наблюдаемых прогибов от напряжений и деформаций изгиба;
- 2) отрыв консоли от заделанного конца (ЗК) балки.

Интерпретация результатов. Суть первого обстоятельства состоит в том, что на КБ наблюдаемые прогибы и деформации изгиба диаметрально противоположны:

- в точке приложения силы прогиб максимальный, а изгибающий момент и напряжения (и деформации!) изгиба равны нулю;
- в сечении заделки, наоборот, прогиб равен нулю, а напряжения (и деформации!) изгиба максимальны.

Для согласования прогибов и напряжений предлагается диагностическое преобразование наблюдаемых прогибов путем переноса начала координат в точку приложения силы, а максимального прогиба с обратным знаком – в сечение заделки (рис. 1).

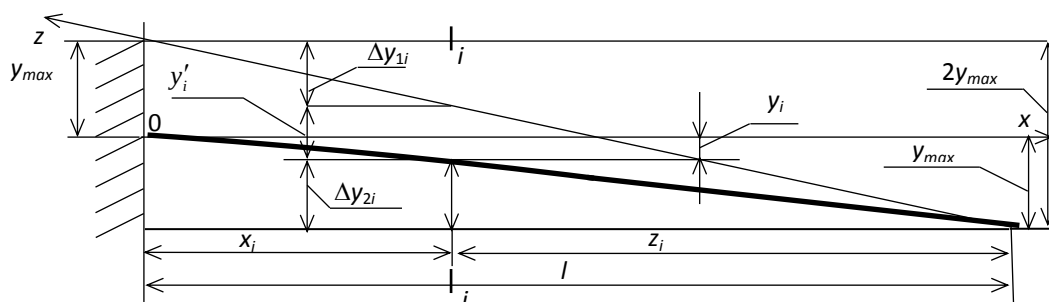


Рис. 1. Схема преобразования прогибов

В промежуточных контрольных сечениях (КС) величина прогибов y'_i определится как расстояние от новой оси абсцисс O_1Z до линии прогибов балки:

$$y'_i = 2y_{\max} - \Delta y_{1i} - \Delta y_{2i}, \quad (3)$$

где Δy_{1i} – поправка на уклон новой оси абсцисс:

$$\Delta y_{1i} = 2y_{\max} \cdot x_i / l = y_{\max} \cdot 2 \cdot i / n; \quad (4)$$

Δy_{2i} – поправка на положение изогнутой оси;

$$\Delta y_{2i} = y_{\max} - y_i \quad (5)$$

Подставляя выражения (4) и (5) в формулу (3), получим

$$y'_i = y_i + y_{\max} \cdot \frac{n - 2 \cdot i}{n}, \quad (6)$$

где $x_i, y_i, i = 0, n$ – обозначения абсцисс КС и прогибов в старой системе координат.

Завершая переход к новому началу координат, необходимо изменить нумерацию КС на обратную:

$$i' = n - i. \quad (7)$$

Например, при изгибе пластмассовой КБ $6 \times 40 \times 700$ мм были получены следующие значения прогибов в 7 КС ($n = 7$):

Наблюдаемые прогибы

1	i	0	1	2	3	4	5	6	7
2	x_i , мм	0	100	200	300	400	500	600	700
3	y_i , мм	0	4	13	27	44,5	64,5	87,5	110
Преобразование прогибов									
4	$(n - 2i)/n$	1	5/7	3/7	1/7	-1/7	-3/7	-5/7	-1
5	$y_{\max} \cdot (4)$	110	78,6	47,1	15,7	-15,7	-47,1	-78,6	-110
6	$y'_i = (3) + (5)$	110	82,6	60,1	42,7	28,8	17,4	8,9	0
7	$i' = n - i$	7	6	5	4	3	2	1	0
8	$y_{\text{расч. по формуле (8)}}$	109,6	82,8	60,8	42,9	28,5	17,1	8,0	0,9
9	$y_{\text{расч.}} - y'$	-0,4	0,2	0,7	0,2	-0,3	-0,3	-0,9	0,9

Математическое описание преобразованной линии прогибов $y' = f(z)$ по формуле полинома третьей степени (8) выявило преобладание линейной составляющей при малых z и квадратичной при больших. При уменьшении длины балки доля квадратичной составляющей растёт, а доля линейной и кубической уменьшается. Это согласуется с увеличением силы P и касательных напряжений в КС, что подтверждает высказывание В.А. Баженова о необходимости уточнения теории элементарного изгиба КБ с

учетом напряженного состояния материала в ней. Интерпретация коэффициентов в формуле (8) дана в соответствии с вышеизложенным:

$$y'_i = A \cdot z_i + B \cdot z_i^2 + C \cdot z_i^3 + D, \quad (8)$$

где A – угол поворота балки в сечении заделки (рад); $A \cdot z_i$ – «свободное» перемещение КС_i за счет этого поворота, $A = 6,466 \cdot 10^{-2}$; $B \cdot z_i^2$ – прогиб от касательных напряжений; $B = 6,248 \cdot 10^{-5}$; $C \cdot z_i^3$ – прогиб от нормальных напряжений; $C = 9,575 \cdot 10^{-8}$; D – суммарная погрешность отсчетов от нулевой линии: $D = 0,9$.

Суть второго обстоятельства состоит в отрыве КК балки от заделанного (ЗК) и в обнулении всех деформаций в жесткой заделке. Рассмотрим типовую расчетную схему (рис. 2а):

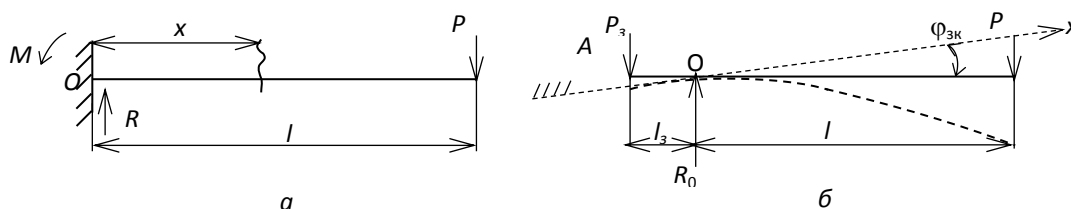


Рис. 2. Расчетная схема КБ:

O – сечение заделки, начало отсчета абсцисс x контрольных сечений (КС); l – длина консоли (КК); P – сосредоточенная нагрузка на КК; R – реакция заделки; M – уравнивающий момент заделки

Условия статического равновесия КК:

- равновесие сил

$$R = -P; \quad (9)$$

- равновесие моментов

$$M = -Pl. \quad (10)$$

Замечание. В этой схеме рассматривается равновесие КК балки, а символическое обозначение заделки создает впечатление всей балки.

Предлагается:

1) заменить символическое обозначение заделки более реальной схемой сил (рис. 2б): добавить к КК опору балки, ее заделанный конец (ЗК) длиной l_3 и силу P_3 , уравнивающую изгибающий момент консоли;

2) уточнить условия статического равновесия:

$$R_0 = -(P + P_3), \quad (11)$$

$$P_3 \cdot l_3 = -P \cdot l \rightarrow P_3 = -P \cdot l / l_3. \quad (12)$$

Результат:

1) становится очевидным неизбежный перегиб КБ в сечении заделки O под действием двух равных по величине и противоположных по направлению изгибающих моментов $P_3 \cdot l_3$ и $P \cdot l$;

2) поскольку ЗК не может повернуться в заделке, произойдет дополнительный поворот КК на угол $\varphi_{ЗК}$, соответствующий повороту ЗК;

3) дополнительно к известному отношению l/h появляется возможность анализировать влияние РФ в виде отношения длин l/l_3 на величину реакций P_3 и R , на величину контактных деформаций от них в опорных точках заделки, дающих дополнительный к изгибу угол поворота КБ в целом (на схеме не показан).

В частности:

1) $R_0 \rightarrow R$ при $P_3 \rightarrow 0$, что соответствует $l_3 \gg l$, но не наблюдается в реальных условиях КБ;

2) наоборот, $P_3 \rightarrow \infty$ и $R_0 \rightarrow \infty$ при $l_3 \rightarrow 0$, что, по-видимому, наблюдается в виде концентрации напряжений в местах резкого изменения сечений на балках и диаметров на ступенчатых валах;

3) $R_0 = -P_3$ при $P \rightarrow 0$, что соответствует $M/l \rightarrow 0$ для «длинных» балок (или нагружению балок «чистым» изгибом). В этом случае реакции R_0 и P_3 сохраняются равными по величине и образуют «чистую» пару сил, производящую изгиб КК и изгиб со *сдвигом* в ЗК балки. По-видимому, эта асимметрия в нагрузках КК и ЗК ограничивает точность формулы (1) при больших прогибах даже при «чистом» изгибе КК;

4) при $l \rightarrow 0$ и $M = \text{const}$ сила $P_3 = M/l_3 = \text{const}$ по формуле (12), а сила $P = M/l \rightarrow \infty$ и сила $R_0 \rightarrow \infty$. Это приводит к увеличению контактного давления и смятия в точке О с увеличением угла поворота КБ в целом и быстрым нарастанием прогибов на КК балки дополнительно к расчетному по формуле (1) (к объяснению резкого уменьшения расчетного МУ в экспериментах В.А. Баженова).

То есть дополнение формулы (1) углами поворота КК в сечении заделки снимает ограничения области ее применения как по величине прогибов, так и по соотношениям l/l_3 и l/h .

Выводы

1. Выявлены два обстоятельства, ограничивающие область применения теории элементарного изгиба КБ:

- отрыв наблюдаемых прогибов от напряжений и деформаций изгиба;
- отрыв консоли от заделанного конца КБ.

2. Предложены два перспективных направления для расширения области применения теории элементарного изгиба КБ: условия статического равновесия *КБ в целом* для описания наблюдаемых прогибов и диагностическое преобразование картины наблюдаемых прогибов для их согласования с напряжениями и деформациями в материале КБ по формуле (8).

3. Для уточнения расчетов наблюдаемых прогибов (и МУ по ним) с учетом влияния РФ в виде отношения длины консоли к высоте сечения l/h предложено дополнительно учитывать отношение длин консоли и заделанного конца l/l_3 . Это дополнение может существенно повысить точность расчетов МУ в широком диапазоне варьирования размеров образцов, включая испытания на малых образцах.

Список литературы

1. Романов Е.М., Онучин Е.М. Подходы к разработке и исследованию инновационной системы эффективного устойчивого лесопользования и лесовосстановления // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 3. С. 3-9.
2. Федюков В.И. Основы квалитетрии и управления качеством лесоматериалов спецназначения (на примере резонансной древесины с уникальными акустическими свойствами): учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по спец. «Стандартизация и сертификация (в лесотехн. комплексе)». Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. 183 с.
3. Салдаева Е.Ю., Цветкова Е.М. Сравнительный анализ результатов определения модуля упругости древесины ели в раннем возрасте разными методами // Труды Поволжского госу-

дарственного технологического университета. Сер.: Технологическая. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2012. С. 63-66.

4. Баженов В.А. Динамический модуль упругости древесины как показатель ее физико-механических свойств // Тр. Института леса / АН СССР. 1953. Т. IX. С. 383-395.

5. Беляев Н.М. Сопротивление материалов: учебник для вузов. 8 изд. М.: Гос. изд. техн. теор. лит., 1953. 856 с.

6. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов: учеб. для вузов / под ред. А.В. Александрова. 7 изд., стер. М.: Высш. шк., 2009. 560 с.: ил.

TO THE THEORY OF BENDING OF THE CANTILEVER BEAMS

Boyarsky Mikhail Vladimirovich¹, Nikitina Nadezda Mikhaylovna²

¹Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

²Mari State University, Russia, Yoshkar-Ola

It is proposed to expand the scope of application of the theory of bending of the cantilever beams. Considered the effect of the size of the driver on the deflection of the cantilever beams. Used methods of mathematical modeling and static equilibrium systems. There are two reasons for the influence of the size factor.

Keywords: *modulus cantilever, beam bending, deflections, test parameters, the size factor*

УДК 631.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТРЕЛОВИДНЫХ ЛАП РАБОЧИХ ОРГАНОВ С ПОЧВОЙ

Галеев Султан Хафизьянович, Муртазин Рустам Шамильевич

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
GaleevSH@marstu.net

Предложены результаты исследований стреловидных лап рабочих органов при взаимодействии с почвенной средой

Ключевые слова: *исследование, стреловидные лапы, энергоэффективность, угол трения, лезвие, крошение*

Введение. Из анализа технологических карт на возделывание сельскохозяйственных культур следует, что наиболее энергоемкими являются почвообрабатывающие операции. При решении задач энергоэффективности объектами исследований должны являться такие операции, совершенствование которых дает ощутимый результат. Актуальность вопроса обусловлена тем, что энергоемкость производимой аграрной отрасли продукции в 4-6 раз выше, чем в развитых странах Западной Европы.

Цель работы. Целью работы является определение условий работоспособности рабочих органов почвообрабатывающих машин, оснащенных стрелчатыми лапами. Создание энергоэффективных рабочих органов обеспечивает существенную экономию энергоматериальных ресурсов при выполнении почвообрабатывающих операций [4]. Проведение исследований взаимодействия рабочих органов с обрабатываемой средой позволит определить оптимальные условия работы, обеспечивающие их длительную эксплуатацию при соблюдении критериев энергоэффективности.

Решаемые задачи: 1) исследование конструктивных параметров рабочих органов и влияние их на энергосиловые показатели работы; 2) исследование работы культиваторных лап стрельчатого типа и моделирование рабочего процесса с целью их совершенствования.

Техническое моделирование. Исследование конструктивных параметров культиваторных лап стрельчатого типа проводилось методом моделирования технологического процесса их работы. Для выполнения поставленной задачи выбрана расчетная область, представляющая собой параллелепипед, размеры сторон которого определены с учетом зон деформации почвенных слоев при работе рассматриваемого типа рабочего органа (рис. 1) [1-3].

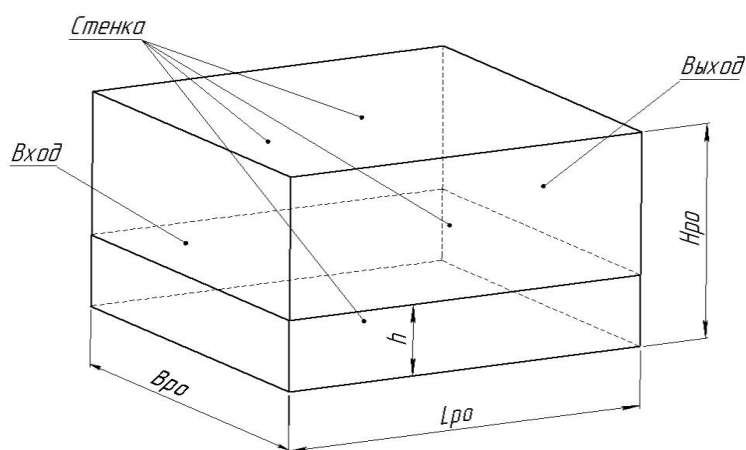


Рис. 1. Схема расчетной области при моделировании рабочего процесса:
 B_{po} – ширина расчетной области; L_{po} – длина расчетной области;
 H_{po} – высота расчетной области; h – глубина обрабатываемого слоя

Картина взаимодействия стрельчатой лапы с обрабатываемым почвенным слоем представлена на рис. 2. При рассмотрении работы одиночной стрельчатой лапы следует учитывать действующие силы на ее рабочие кромки [5]. Данное обстоятельство должно соблюдаться, так как необходимо учитывать технологическое назначение рассматриваемого типа рабочих органов, которое заключается в том, что при работе должно выполняться условие скольжения растительных частиц вдоль рабочей кромки лезвия патч. Анализ работы стрельчатых культиваторных лап позволяет определять скорости скольжения почвенных частиц по рабочим поверхностям рассматриваемого рабочего органа. Для определения условия обеспечения скользящего резания растительных остатков, встречающихся на пути движения стрельчатой лапы, без обволакивания лезвия необходимо рассмотреть движение лапы в почве при встрече с растительными остатками (рис. 2).

Как видно из расчетной схемы, условие скольжения стебля вдоль лезвия можно представить в виде

$$F = N \operatorname{tg} \varphi < T. \quad (1)$$

Из рассматриваемой схемы следует, что

$$N = \sin r, \quad (2)$$

$$T = R \cos \gamma \quad (3)$$

Тогда неравенство (1) запишется следующим образом:

$$\begin{aligned} & \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \gamma < 1, \\ & \gamma < (90^\circ - \varphi). \end{aligned} \quad (4)$$

откуда

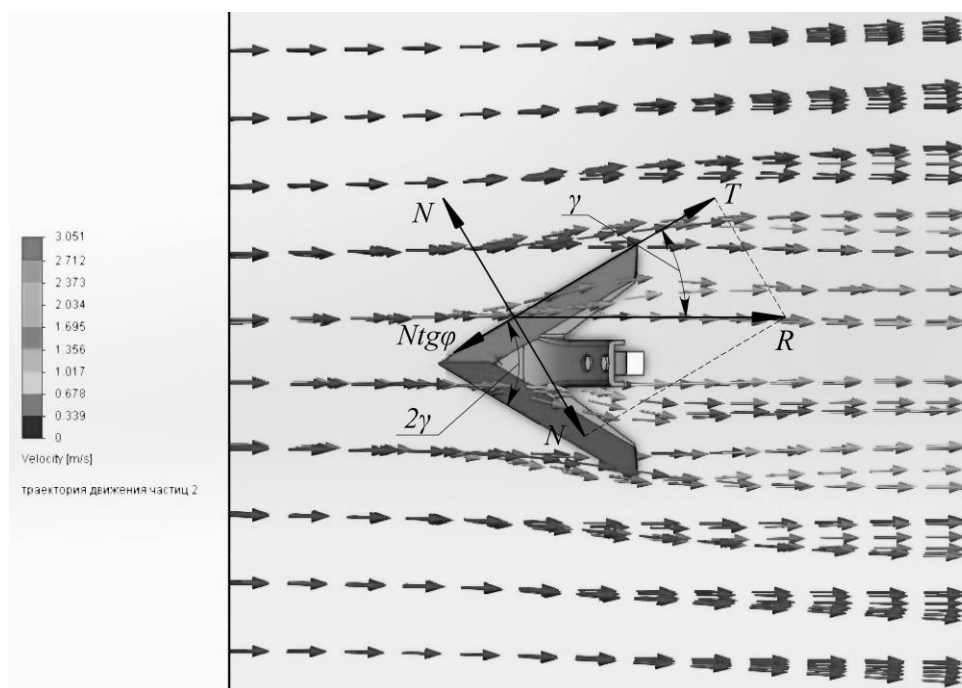


Рис. 2. Схема взаимодействия стрельчатой лапы с обрабатываемым почвенным слоем:
 N – реакция лезвия; T – силовая составляющая, продвигающая стебель вдоль лезвия;
 φ – угол трения стебля о лезвие; 2γ – угол раствора стрельчатой лапы

Условие (4) обеспечивает скользящее резание без обволакивания лезвия, причем угол φ зависит от почвенно-климатических условий и физического состояния почвы. Данный параметр может иметь довольно широкие пределы варьирования.

В решении задач энергоэффективности значительное влияние на критерии оценки исследуемых процессов оказывает такой важный параметр, как угол крошения. Схема движения почвенных частиц по рабочим поверхностям лап в продольно-вертикальной плоскости показана на рис. 3.

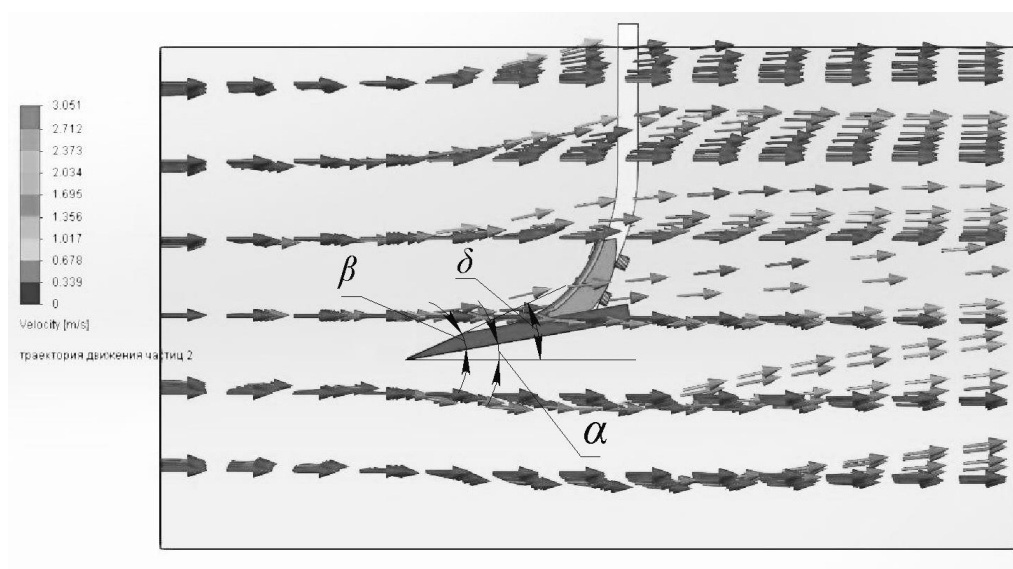


Рис. 3. Схема движения почвенных частиц по рабочим поверхностям лап (продольно-вертикальная плоскость): δ – угол крошения, α – задний угол, β – угол заточки в рассматриваемом сечении

Величина угла крошения δ влияет на рыхлительные способности рассматриваемых рабочих органов. Конструктивные значения δ для плоскорежущих лап – 16-20°, а для универсальных стрелчатых лап – 28-32°. Для улучшения крошащих способностей рабочих органов в области стыка рабочей поверхности лапы со стойкой выполняется плавное увеличение угла δ . Общий вид работы стрелчатой лапы в обрабатываемом слое по результатам моделирования процесса его работы приведен на рис. 4.

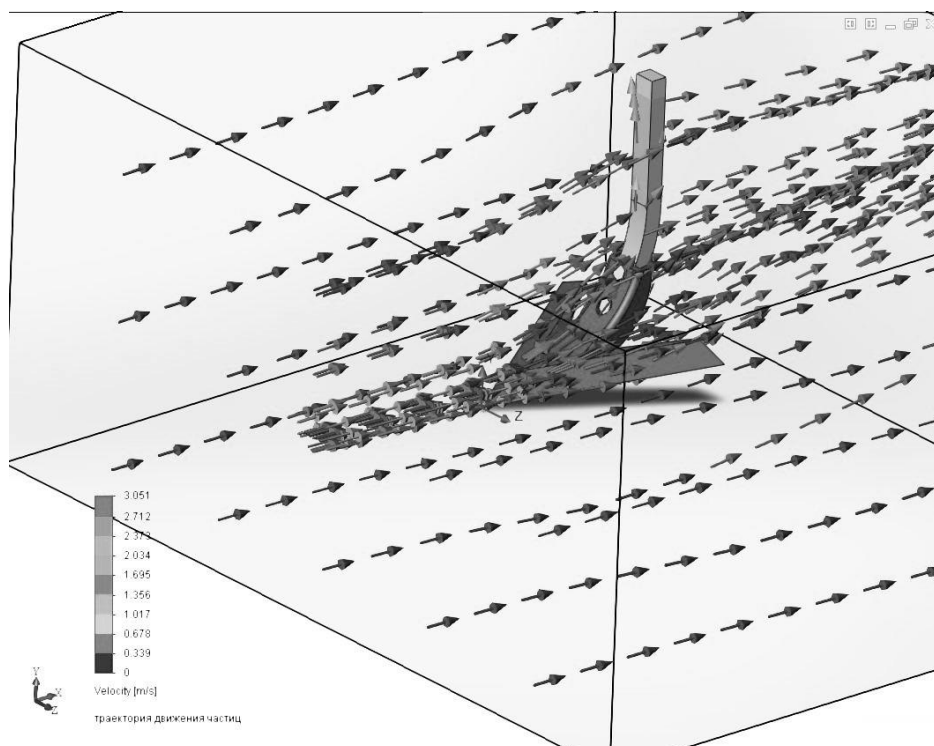


Рис. 4. Общий вид работы стрелчатой лапы в обрабатываемом слое

Наиболее интенсивное перемещение почвенных частиц относительно рабочей поверхности лапы происходит в области стреловидной вершины, по боковым граням и лезвиям лапы (рис. 4).

При выборе материала для изготовления составных частей рабочего органа должны быть использованы результаты проведенных исследований по моделированию рабочего процесса обработки почвы.

Интерпретация результатов. Результаты исследования взаимодействия рабочих органов со стреловидными лапами позволяют определить условия проведения почвообрабатывающих операций в зависимости от показателей, определяющих работоспособность почвообрабатывающих машин. Дальнейшее продолжение работ должно выполняться с учетом полученных аналитических и экспериментальных данных, характеризующих показатели исследуемого процесса.

Выводы

1. Использование стреловидных лап позволяет выполнять операции по рыхлению почвенного слоя в соответствии с предъявляемыми агротехническими требованиями.
2. Выбранный метод моделирования работы стрелчатых лап дает возможность оценки протекания исследуемого процесса для последующего выбора конструктивных параметров.

3. Для обеспечения длительности эксплуатации используемых рабочих органов должны учитываться зоны контакта рабочих поверхностей, подвергающиеся наиболее интенсивному воздействию почвенных частиц.

Список литературы

1. Бабкин А.В., Селиванов В.В. Прикладная механика сплошных сред: в 3 т. М.: МГТУ, 1998. Т.1. 367 с.
2. Кулен А., Куиперс Х. Современная земледельческая механика. М.: Агропромиздат, 1986. 349 с.
3. Оценка технологического процесса обработки почвы на основе уравнений динамики сплошных сред / Мударисов С.Г. [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 1. С. 63-65.
4. Исследование рабочих органов пропашного культиватора в производственных условиях // Инженерно-техническое обеспечение АПК: реферативный журнал. 2010. № 3. 791 с.
5. Основные виды деформации почвы и движение почвенного пласта по рабочему органу [Исследование работы культиватора с новым рабочим органом] // Инженерно-техническое обеспечение АПК: реферативный журнал. 2011. № 2. 486 с.
6. Дручинин Д.Ю., Дорняк О.Р., Драпалюк М.В. Теоретические исследования процесса выкопки саженцев с комом почвы // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 2 (18). С. 30-37.

STUDY OF INTERACTION OF WORKING SCAPIFORM HOE WITH THE SOIL

Galeev Sultan Hafizyanovich, Murtazin Rustam Shamilevich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Presents the results of research workers scapiform hoe of the interaction with the soil

Keywords: *study, scapiform hoe, energy efficiency, friction angle, the blade, the crumbling*

УДК 531.36

**СИМВОЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ
ДИНАМИКИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА**

Журавлев Евгений Алексеевич, Багаутдинов Ильдар Нургаязович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
ZhuravlevEA@volgatech.net

Дифференциальные уравнения динамики четырехзвенного манипулятора формируются на основе символьной реализации модифицированного рекурсивного алгоритма Ньютона–Эйлера средствами пакета Maple. Представлен пример численного решения прямой задачи динамики манипулятора.

Ключевые слова: *динамика манипулятора, прямая задача, рекурсивный алгоритм Ньютона–Эйлера, символьные вычисления*

Введение. Вычислительная эффективность различных способов построения уравнений динамики исполнительного механизма манипулятора существенно зависит от числа N его степеней свободы [1]. Признанным лидером эффективности при $N \geq 6$ является рекурсивный алгоритм Ньютона–Эйлера (РАНЭ) и различные его модификации

[2]. Несмотря на это, в настоящее время в отечественной научной литературе практически отсутствуют как методологические, так и практические результаты компьютерного моделирования динамики пространственных манипуляторов на основе РАНЭ.

Цель работы – разработать методику построения математических моделей динамики пространственных манипуляторов лесных машин на основе символьной реализации модифицированного РАНЭ.

Решаемые задачи: 1) построение рекурсивного кинетостатического описания динамики манипулятора на основе уравнений Ньютона – Эйлера; 2) получение в явной форме выражений для членов дифференциальных уравнений динамики манипулятора с помощью средств символьных вычислений пакета Maple 4.

Математическое моделирование. Рассматриваемая ниже кинематическая схема механизма типична для манипуляторов, используемых в лесной промышленности: четырёхзвенный манипулятор установлен на неподвижной базе B , а все его звенья связаны вращательными кинематическими парами (рис. 1).

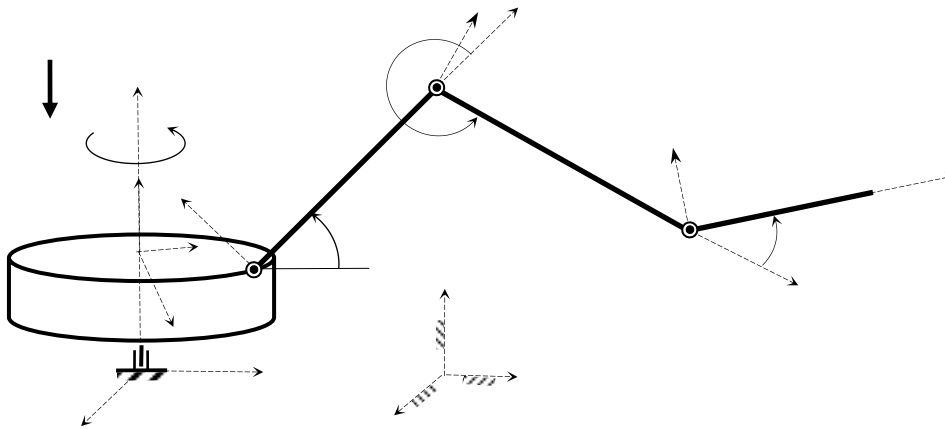


Рис. 1. Схема манипулятора и расположение локальных систем координат

Ось вращения звена 1 относительно базы – вертикальная, оси остальных вращательных пар параллельны и горизонтальны. С каждым i -м звеном свяжем локальную систему координат $S_i: (O_i x_i y_i z_i)$, $i = 1, \dots, 4$; а с базой – систему $S_0: (O x_0 y_0 z_0)$. Звенья – твердые тела с массами m_i , $i = 1, \dots, 4$. Локальные радиус-векторы $\mathbf{r}_i$ центров масс звеньев C_i , а также матрицы инерции $\mathbf{I}_i$ звеньев в центральных осях $C_i x, C_i y, C_i z$, параллельных локальным, считаем известными. Взаимное расположение звеньев определяется четырьмя обобщенными координатами-углами q_1, q_2, q_3, q_4 в сочленениях. Для имитации сил тяжести считаем, что система S_0 движется поступательно с постоянным ускорением $-\mathbf{g}$ относительно инерциальной системы $O^* x^* y^* z^*$ (рис. 1).

По рекурсивным формулам последовательно находятся угловые скорости $\boldsymbol{\omega}_i$, угловые ускорения $\boldsymbol{\varepsilon}_i$ звеньев и ускорения $\mathbf{a}_i$ их центров масс:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\omega}_1 &= \dot{q}_1 \mathbf{k}, \quad \boldsymbol{\varepsilon}_1 = \ddot{q}_1 \mathbf{k}; \\ \boldsymbol{\omega}_2 &= \mathbf{P}_2 \boldsymbol{\omega}_1 + \dot{q}_2 \mathbf{i}, \quad \boldsymbol{\varepsilon}_2 = \mathbf{P}_2 \boldsymbol{\varepsilon}_1 + (\mathbf{P}_2 \boldsymbol{\omega}_1) \times \dot{q}_2 \mathbf{i} + \ddot{q}_2 \mathbf{i}; \\ \boldsymbol{\omega}_3 &= \mathbf{P}_3 \boldsymbol{\omega}_2 + \dot{q}_3 \mathbf{j}, \quad \boldsymbol{\varepsilon}_3 = \mathbf{P}_3 \boldsymbol{\varepsilon}_2 + (\mathbf{P}_3 \boldsymbol{\omega}_2) \times \dot{q}_3 \mathbf{j} + \ddot{q}_3 \mathbf{j}; \\ \boldsymbol{\omega}_4 &= \mathbf{P}_4 \boldsymbol{\omega}_3 + \dot{q}_4 \mathbf{i}, \quad \boldsymbol{\varepsilon}_4 = \mathbf{P}_4 \boldsymbol{\varepsilon}_3 + (\mathbf{P}_4 \boldsymbol{\omega}_3) \times \dot{q}_4 \mathbf{i} + \ddot{q}_4 \mathbf{i}; \\ \mathbf{w}_0 &= g \mathbf{k}, \quad \mathbf{a}_1 = \mathbf{P}_1 \mathbf{w}_0 + \boldsymbol{\omega}_1 \times (\boldsymbol{\omega}_1 \times \mathbf{r}_1) + \boldsymbol{\varepsilon}_1 \times \mathbf{r}_1, \quad \mathbf{w}_1 = \mathbf{P}_1 \mathbf{w}_0 + \boldsymbol{\omega}_1 \times (\boldsymbol{\omega}_1 \times \mathbf{L}_1) + \boldsymbol{\varepsilon}_1 \times \mathbf{L}_1; \\ \mathbf{a}_2 &= \mathbf{P}_2 \cdot \mathbf{w}_1 + \boldsymbol{\omega}_2 \times (\boldsymbol{\omega}_2 \times \mathbf{r}_2) + \boldsymbol{\varepsilon}_2 \times \mathbf{r}_2, \quad \mathbf{w}_2 = \mathbf{P}_2 \cdot \mathbf{w}_1 + \boldsymbol{\omega}_2 \times (\boldsymbol{\omega}_2 \times \mathbf{L}_2) + \boldsymbol{\varepsilon}_2 \times \mathbf{L}_2; \\ \mathbf{a}_3 &= \mathbf{P}_3 \cdot \mathbf{w}_2 + \boldsymbol{\omega}_3 \times (\boldsymbol{\omega}_3 \times \mathbf{r}_3) + \boldsymbol{\varepsilon}_3 \times \mathbf{r}_3, \quad \mathbf{w}_3 = \mathbf{P}_3 \cdot \mathbf{w}_2 + \boldsymbol{\omega}_3 \times (\boldsymbol{\omega}_3 \times \mathbf{L}_3) + \boldsymbol{\varepsilon}_3 \times \mathbf{L}_3; \\ \mathbf{a}_4 &= \mathbf{P}_4 \cdot \mathbf{w}_3 + \boldsymbol{\omega}_4 \times (\boldsymbol{\omega}_4 \times \mathbf{r}_4) + \boldsymbol{\varepsilon}_4 \times \mathbf{r}_4, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\mathbf{P}_1 = \begin{bmatrix} \cos q_1 & \sin q_1 & 0 \\ -\sin q_1 & \cos q_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$, $\mathbf{P}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos q_k & \sin q_k \\ 0 & -\sin q_k & \cos q_k \end{bmatrix}$ – матрицы преобразований ко-

ординат вектора из системы координат S_0 в S_1 и из S_{k-1} в S_k соответственно ($k = 2, 3, 4$); $\mathbf{k} = (0, 0, 1)^T$, $\mathbf{i} = (1, 0, 0)^T$ – орты осей сочленения; $\mathbf{L}_i$ – радиус-вектор начала O_{i+1} относительно O_i ; $\mathbf{w}_j$ – ускорение начала O_{i+1} . Нижний индекс вектора повсюду соответствует номеру той локальной системы S_i , в которой представляются его координаты.

Для описания динамики манипулятора воспользуемся принципом Даламбера, согласно которому для каждого i -го звена должны выполняться два векторных равенства:

$$\Phi_i + \mathbf{R}_i - \mathbf{R}_{i+1} = 0, \quad \mathbf{M}_i^\Phi + \mathbf{r}_i \times \Phi_i + \mathbf{M}_i - \mathbf{L}_i \times \mathbf{R}_{i+1} - \mathbf{M}_{i+1} = 0, \quad (2)$$

где Φ_i и $\mathbf{M}_i^\Phi$ – главный вектор и главный момент Даламберовых сил i -го звена:

$$\Phi_i = -m_i \mathbf{a}_i, \quad \mathbf{M}_i^\Phi = -\mathbf{I}_i \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_i - \boldsymbol{\omega}_i \times (\mathbf{I}_i \cdot \boldsymbol{\omega}_i); \quad (3)$$

$\mathbf{R}_i$ и $\mathbf{M}_i$ – главный вектор и главный момент сил, действующих на i -е звено в его сочленении с $(i-1)$ -м звеном.

Для конечного звена ($i = 4$) момент и силу, действующие на него в сочленении O_4 , найдем из уравнений (2), полагая $\mathbf{R}_{i+1} = 0$, $\mathbf{M}_{i+1} = 0$:

$$\mathbf{M}_4 = -\mathbf{r}_4 \times \Phi_4 - \mathbf{M}_4^\Phi, \quad \mathbf{R}_4 = -\Phi_4. \quad (4)$$

После этого из уравнений кинетостатики (2) для звеньев 3, 2, 1 последовательно находим моменты $\mathbf{M}_3$, $\mathbf{M}_2$, $\mathbf{M}_1$ в сочленениях O_3 , O_2 , O_1 :

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_3 &= \mathbf{L}_3 \times (\mathbf{P}_4^T \mathbf{R}_4) + \mathbf{P}_4^T \mathbf{M}_4 - \mathbf{r}_3 \times \Phi_3 - \mathbf{M}_3^\Phi, \quad \mathbf{R}_3 = \mathbf{P}_4^T \mathbf{R}_4 - \Phi_3; \\ \mathbf{M}_2 &= \mathbf{L}_2 \times (\mathbf{P}_3^T \mathbf{R}_3) + \mathbf{P}_3^T \mathbf{M}_3 - \mathbf{r}_2 \times \Phi_2 - \mathbf{M}_2^\Phi, \quad \mathbf{R}_2 = \mathbf{P}_3^T \mathbf{R}_3 - \Phi_2; \\ \mathbf{M}_1 &= \mathbf{L}_1 \times (\mathbf{P}_2^T \mathbf{R}_2) + \mathbf{P}_2^T \mathbf{M}_2 - \mathbf{r}_1 \times \Phi_1 - \mathbf{M}_1^\Phi. \end{aligned} \quad (5)$$

Моменты μ_i приводных сил, действующих в сочленениях, определяем, проецируя векторные моменты $\mathbf{M}_1 - \mathbf{M}_4$ на оси сочленений:

$$\mu_1 = \mathbf{M}_1 \mathbf{k}, \quad \mu_2 = \mathbf{M}_2 \mathbf{i}, \quad \mu_3 = \mathbf{M}_3 \mathbf{i}, \quad \mu_4 = \mathbf{M}_4 \mathbf{i}. \quad (6)$$

Полученные равенства (1), (3) – (6) дают решение обратной задачи динамики манипулятора, т.е. по заданным значениям обобщенных координат q_i , скоростей $\dot{q}_i$ и ускорений $\ddot{q}_i$ позволяют вычислить управляющие моменты μ_i в сочленениях.

Для решения прямой задачи – расчета движения по заданным приводным моментам – требуется сформулировать и решить систему дифференциальных уравнений динамики манипулятора, которая, как известно из аналитической механики, должна иметь следующий вид:

$$\sum_{i=1}^4 a_{ki}(q_2, q_3, q_4) \ddot{q}_i + \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 b_{kij}(q_2, q_3, q_4) \dot{q}_i \dot{q}_j + g c_k(q_2, q_3, q_4) = \mu_k, \quad (k = 1, \dots, 4). \quad (7)$$

Система (7) линейна относительно обобщенных ускорений $\ddot{q}_i$, и при условии, что $|a_{ij}| \neq 0$, её численное интегрирование не представляет трудностей.

Для определения элементов матрицы инерции манипулятора $a_{ij}(q_2, q_3, q_4)$, гироскопических $\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 b_{kij}(q_2, q_3, q_4) \dot{q}_i \dot{q}_j$ и гравитационных $g_{ck}(q_2, q_3, q_4)$ членов уравнений (7) удобно воспользоваться соотношениями (1), (3)-(6).

Для этого заметим, что при

$$\dot{q}_s = 0, (s = 1, \dots, 4), g = 0, \ddot{q}_i = 1, \ddot{q}_j = 0, (j \neq i) \quad (8)$$

получаем из системы (7)

$$a_{ki}(q_2, q_3, q_4) = \mu_k.$$

При

$$\ddot{q}_s = 0, (s = 1, \dots, 4), g = 0 \quad (9)$$

получаем

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 b_{kij}(q_2, q_3, q_4) \dot{q}_i \dot{q}_j = \mu_k.$$

Наконец, при

$$\ddot{q}_s = 0, \dot{q}_s = 0, (s = 1, \dots, 4) \quad (10)$$

получим из системы (7)

$$g_{ck}(q_2, q_3, q_4) = \mu_k.$$

Отсюда следует, что при использовании условий (8) соотношения (1), (3)-(6) определяют элементы матрицы инерции манипулятора, а при использовании условий (9) или (10) дают соответственно гироскопические или гравитационные члены уравнений (7).

Компьютерная реализация алгоритма. Несмотря на то что условия (8), (9) или (10) существенно упрощают рекурсивные вычисления по формулам (1), (3)-(6), их ручное выполнение по-прежнему оказывается крайне трудоемким. Поэтому для получения явных выражений вышеперечисленных членов уравнений (7) были использованы программные средства символьных вычислений пакета Maple 4.

Первоначально задавались символьные значения масс звеньев m_i , элементов их матриц инерции $I_{ix}, I_{ixy}, I_{ixz}, I_{iy}, I_{iyz}, I_{iz}$, компонентов векторов $L_1(L_{1x}, L_{1y}, L_{1z}), L_2(0, L_2, 0), L_3(0, L_3, 0), L_4(0, L_4, 0)$, $r_k(x_k, y_k, z_k)$, матриц преобразований координат P_i , обобщенных координат q_i , скоростей $\dot{q}_i$ и ускорений $\ddot{q}_i$. Затем выполнялись рекурсивные символьные вычисления по векторным формулам (1), (3)-(6) до получения выражений для приводных моментов μ_i . Из этих общих выражений при помощи подстановок (8), (9), (10) и элементарных алгебраических преобразований были получены выражения для всех элементов матрицы инерции манипулятора, а также гироскопических и гравитационных членов уравнений (7). Ниже приведены некоторые из них:

$$\begin{aligned} a_{12}(q_1, q_2, q_3) = & [m_4 y_4 (L_{1x} + x_4) - I_{4xy}] \sin(q_2 + q_3 + q_4) + [m_2 (x_2 y_2 + L_{1x} y_2) + m_3 L_2 (L_{1x} + x_3) + \\ & + m_4 L_2 (L_{1x} + x_4) - I_{4xy}] \sin q_2 + [m_3 y_3 (L_{1x} + x_3) + m_4 L_3 (L_{1x} + x_4) - I_{3xy}] \sin(q_2 + q_3) + [I_{3xz} - \\ & - m_3 z_3 (L_{1x} + x_3)] \cos(q_2 + q_3) + [I_{4xz} - m_4 z_4 (L_{1x} + x_4)] \cos(q_2 + q_3 + q_4) + [I_{2xz} - m_2 z_2 (L_{1x} + \\ & + x_2)] \cos q_2; \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 b_{4ij}(q_2, q_3, q_4) \dot{q}_i \dot{q}_j = \frac{1}{2} \{ [m_4(z_4^2 - y_4^2) + I_{4y} - I_{4z}] \sin(2q_2 + 2q_3 + 2q_4) + m_4 z_4 L_3 \cos q_4 - \\ - m_4 y_4 L_3 [\sin(2q_2 + 2q_3 + q_4) + \sin q_4] + m_4 z_4 [L_2 \cos(q_3 + q_4) + (L_2 + L_3) \cos(2q_2 + q_3 + q_4)] - \\ - 2m_4 y_4 L_{1y} \sin(q_2 + q_3 + q_4) + 2(m_4 z_4 y_4 - I_{4yz}) \cos(2q_2 + 2q_3 + 2q_4) - m_4 y_4 L_2 [\sin(q_3 + q_4) + \\ + \sin(2q_2 + q_3 + q_4)] + 2m_4 z_4 L_{1y} \cos(q_2 + q_3 + q_4) \} \dot{q}_1^2 + 2m_4 L_3 (z_4 \cos q_4 - y_4 \sin q_4) \dot{q}_1 \dot{q}_3 + \\ + m_4 \{ L_2 [z_4 \cos(q_3 + q_4) - y_4 \sin(q_3 + q_4)] + L_3 (z_4 \cos q_4 - y_4 \sin q_4) \} \dot{q}_2^2 + m_4 L_3 [z_4 \cos q_4 - \\ - y_4 \sin(q_3 + q_4)] \dot{q}_3^2;$$

$$c_2(q_2, q_3, q_4) = (m_3 y_3 + m_4 L_3) \cos(q_2 + q_3) + [m_2 y_2 + (m_3 + m_4) L_2] \cos q_2 + m_3 z_3 \sin(q_2 + q_3) + \\ + m_4 z_4 \sin(q_2 + q_3 + q_4) + m_2 z_2 \sin q_2 + m_4 y_4 \cos(q_2 + q_3 + q_4).$$

Численные результаты. Для тестирования полученных дифференциальных уравнений (7) с их помощью была решена прямая задача динамики – выполнен расчет движения манипулятора из состояния, определяемого начальными условиями

$$q_1(0) = q_{10} = 0, \quad q_2(0) = q_{20} = 1, \quad q_2(0) = q_{30} = -1, \quad q_4(0) = q_{40} = 1, \quad \dot{q}_i(0) = 0, \quad (i = 1, \dots, 4)$$

под действием заданных управляющих приводных моментов:

$$\mu_1(t) = \begin{cases} M_a \left[1 - \left(\frac{t - \tau}{\tau} \right)^2 \right], & \text{при } 0 \leq t \leq 2\tau, \\ 0, & \text{при } t > 2\tau; \end{cases} \quad \mu_k = \mu_k^{\text{ст}} - \lambda(q_k - q_{k0}), \quad (k = 2, 3, 4). \quad (11)$$

Здесь момент μ_1 обеспечивает поворот опорной платформы (звено 1) на конечный угол; моменты $\mu_2 - \mu_4$ – моменты упругих реакций, удерживающих стрелу, рукоять и ЗСУ (звенья 2, 3 и 4) вблизи заданного начального положения; $\mu_k^{\text{ст}} = g c_k(q_{20}, q_{30}, q_{40})$.

Геометрические и инерционные параметры механизма соответствовали параметрам манипулятора лесной машины ВПМ ЛП-19М [3].

Массы звеньев: платформа $m_1 = 10600$ кг, стрела $m_2 = 850$ кг, рукоять $m_3 = 300$ кг, ЗСУ $m_4 = 1350$ кг. Центральные моменты инерции звеньев: $I_{1x} = 21250$ кг·м², $I_{1y} = 9352$ кг·м², $I_{1z} = 27800$ кг·м², $I_{1xy} = 800$ кг·м², $I_{1xz} = -1060$ кг·м², $I_{1yz} = 2000$ кг·м²; $I_{2x} = 868$ кг·м², $I_{2y} = 23$ кг·м², $I_{2z} = 872$ кг·м², $I_{2xy} = 20$ кг·м², $I_{2xz} = 30$ кг·м², $I_{2yz} = 10$ кг·м²; $I_{3x} = 365$ кг·м², $I_{3y} = 8$ кг·м², $I_{3z} = 364$ кг·м², $I_{3xy} = 1$ кг·м², $I_{3xz} = 1$ кг·м², $I_{3yz} = 1$ кг·м²; $I_{4x} = 456$ кг·м², $I_{4y} = 456$ кг·м², $I_{4z} = 182$ кг·м², $I_{4xy} = 1$ кг·м², $I_{4xz} = 1$ кг·м², $I_{4yz} = -10$ кг·м².

Радиус-векторы центров масс звеньев $\mathbf{r}_1(0; -1,7; 0,11)$ м; $\mathbf{r}_2(0; 1,59; 0,0)$ м; $\mathbf{r}_3(0; 3,5; 0)$ м; $\mathbf{r}_4(0; 0,63; -0,21)$ м и центров сочленений $\mathbf{L}_1(0,13; 0,25; 0,42)$ м; $\mathbf{L}_2(0; 3,2; 0)$ м; $\mathbf{L}_3(0; 0,25; 0,42)$ м.

Параметры управляющих моментов (11): $M_a = 30$ кН·м; $\tau = 6$ с; $\lambda = 500$ кН/рад.

Численное интегрирование уравнений (7) выполнялось методом Рунге-Кутты с постоянным шагом $\Delta t = 0,02$ с. Результаты расчетов представлены на рис. 2, 3 и демонстрируют ожидаемое поведение механизма: платформа поворачивается на угол около 1,5 рад и останавливается, а остальные звенья под действием переменных центробежных сил начинают совершать колебания вблизи первоначального равновесного положения.

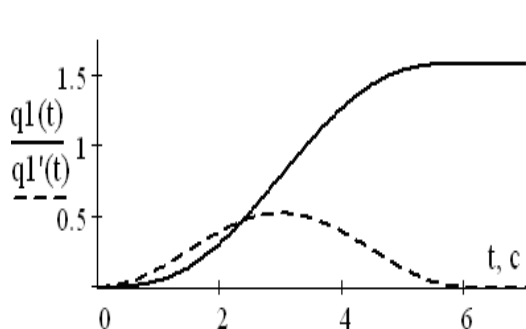


Рис. 2. Изменение угла поворота q_1 (рад) и угловой скорости q_1' (рад/с) платформы

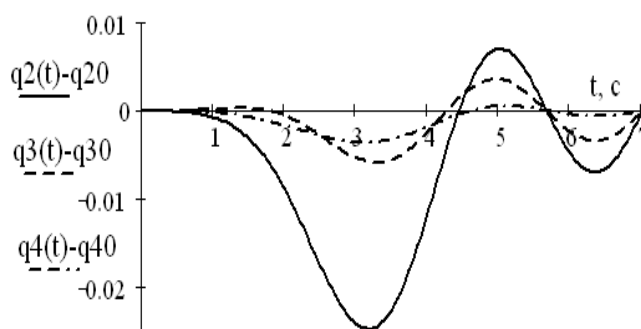


Рис. 3. Изменение углов взаимного поворота звеньев 2, 3, 4 (рад)

Выводы

1. Разработана методика машинного формирования динамических уравнений твердотельного пространственного манипулятора на основе символьной реализации рекурсивного алгоритма Ньютона-Эйлера.

2. Построена математическая динамическая модель четырехзвенного манипулятора лесной машины и выполнено её тестирование на примере решения прямой задачи.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы»

Список литературы

1. Белоусов И.Р. Формирование уравнений динамики роботов-манипуляторов: препринт / ИПМ РАН. 2002. № 45. 28 с.
2. Walker M. W., Orin D. E. Efficient Dynamic Computer Simulation of Robotic Mechanisms, Trans // ASME, J. Dynamic Systems, Measurement & Control. 1982. Vol. 104. P. 205-211.
3. Александров В.А., Бурмистрова О.Н., Шоль Н.Р. О нагруженности силовой установки валочно-пакетирующей машины в режиме переориентирования ходовой системы // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2010. № 3. С. 70-76.

SYMBOLIC COMPUTATION IN COMPUTER SIMULATION DYNAMICS OF SPATIALLY MANIPULATOR

Zhuravlev Evgeniy Alekseevich, Bagautdinov Ildar Nurgayazovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Dynamic differential equations of the four-arm manipulator are formed on the basis of symbolic implementation of the modified recursive Newton-Euler algorithm by means of Maple 4. An example of the numerical solution of the direct dynamic problem for the manipulator is presented.

Keywords: manipulator dynamics, direct problem, recursive Newton-Euler algorithm, symbolic computation

УДК 539.9

ДИНАМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПЛАСТИН ПРИ СЖАТИИ В ДВУХ НАПРАВЛЕНИЯХ

Иванов Сергей Павлович, Иванов Олег Геннадьевич, Иванова Анастасия Сергеевна

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
IvanovSP@volgatech.net

Представлен метод расчета на динамическую устойчивость пластин, сжатых в двух направлениях. Материал пластин считается нелинейно-упругим.

Ключевые слова: динамическая устойчивость, физическая нелинейность, пластина

Введение. Известно, что физически нелинейными свойствами обладают некоторые сорта сталей, сплавы, цветные металлы, композиты. В имеющейся литературе [1, 2] расчеты на устойчивость пластин выполнены в основном в линейной постановке. Статический расчет пластинчатых систем из нелинейно-упругих материалов был рассмотрен ранее в [3]. Почти нет научных работ, посвященных исследованиям устойчивости пластин при действии динамических нагрузок с учетом физической нелинейности материала. Метод расчета на динамическую устойчивость призматических оболочек из физически нелинейных материалов был представлен в работе [4].

Цель работы – разработать метод расчета на динамическую устойчивость пластин из нелинейно-упругих материалов при сжатии в двух направлениях.

Решаемые задачи: 1) используя основные соотношения нелинейной теории упругости и пластичности и вариационный метод В.З. Власова, получить систему нелинейных дифференциальных уравнений для расчета на динамическую устойчивость пластин из нелинейно-упругих материалов; 2) разработать вычислительный алгоритм и программу для численного решения полученных нелинейных дифференциальных уравнений (с применением итерационного метода для ПЭВМ).

Математическое моделирование. Рассмотрим прямоугольную пластину (рис. 1), на которую действуют сжимающая динамическая нагрузка $P(t)$ в продольном направлении, сжимающая динамическая нагрузка $\alpha P(t)$ в поперечном направлении; $\alpha=1,2,\dots,n$.

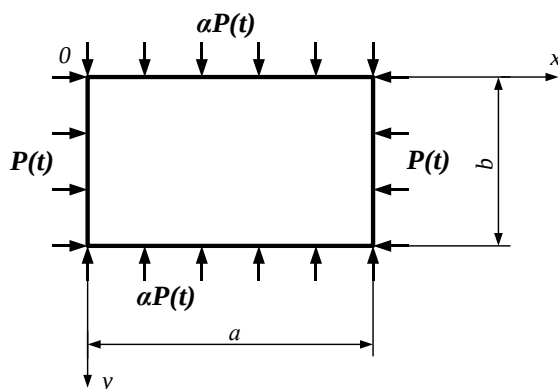


Рис. 1. Схема нагружения пластины

Зависимость между интенсивностями напряжений σ_i и деформаций e_i можно принять в виде кубического полинома [5]:

$$\sigma_i = E \cdot e_i - E_1 e_i^3, \quad (1)$$

где E – начальный модуль упругости материала, а E_1 – постоянная, учитывающая степень физической нелинейности материала (принимается по экспериментальным данным).

Принимаем гипотезы Кирхгофа-Лява, гипотезы теории расчета пластинчатых систем В.З. Власова [6] и гипотезу о нелинейно-упругом теле. Используем известные соотношения между деформациями и перемещениями:

$$\varepsilon_x = -z\chi_x; \quad \varepsilon_y = -z\chi_y; \quad \varepsilon_{xy} = -2z\chi_{xy}, \quad (2)$$

$$\text{где } \chi_x = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \quad \chi_y = \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}; \quad \chi_{xy} = \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}, \quad w = w(x, y, t),$$

w – перемещение точек срединной плоскости пластины в нормальном направлении, t – время.

Выражения интенсивности деформаций e_i и объемной деформации θ с учетом гипотез Кирхгофа-Лява и сжимаемости материала ($\sigma_z = 0$, $\varepsilon_{xz} = 0$, $\varepsilon_{yz} = 0$) можно записать следующим образом:

$$e_i = \frac{\sqrt{2}}{2(1+\nu)} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + (\varepsilon_y - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_x)^2 + \frac{3}{2}\varepsilon_{xy}^2}, \quad (3)$$

$$\theta = \frac{1-2\nu}{1-\nu}(\varepsilon_x + \varepsilon_y), \quad (4)$$

где ν – коэффициент Пуассона материала пластины.

Тогда деформацию ε_z определим по формуле

$$\varepsilon_z = -\frac{\nu}{1-\nu}(\varepsilon_x + \varepsilon_y). \quad (5)$$

Для решения задачи используем энергетический метод. Составим выражение для полной энергии L системы:

$$L = \Pi - T, \quad (6)$$

где Π – потенциальная энергия, T – кинетическая энергия.

Выражение для определения потенциальной энергии системы имеет вид

$$\Pi = \iint \left[A - P(t) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 - \alpha P(t) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 \right] dy dx, \quad (7)$$

где A – работа внутренних сил, отнесенная к единице площади пластины.

Определим работу внутренних сил A :

$$A = \int_{-\delta/2}^{\delta/2} \Phi dz, \quad (8)$$

где δ – толщина пластины, Φ – удельная энергия изменения объема и формы, которая определяется по формуле [7]:

$$\Phi = \frac{1}{2} K \theta^2 + \frac{2}{3} \int_0^{\epsilon_i} (1 + \nu) \cdot \sigma_i \cdot d\epsilon_i, \quad (9)$$

где $K = E / [3(1 - 2\nu)]$ – модуль объемного сжатия, ν – коэффициент Пуассона материала пластины.

Выражение для определения кинетической энергии системы имеет вид

$$T = \frac{1}{2} \iint \frac{\rho \delta}{g} \left[\left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 \right] dy dx, \quad (10)$$

где ρ – объемный вес материала, g – ускорение свободного падения.

Перемещения точек срединной плоскости пластины в нормальном направлении представим в виде разложений по В. З. Власову [6]:

$$w(x, y, t) = \sum_k W_k(t) f_k(x, y), \quad (k = 1, 2, 3, \dots, n). \quad (11)$$

Обобщенные перемещения $W_k(t)$ являются искомыми функциями и зависят от переменной t (время). Выбор координатных функций $f_k(x, y)$ осуществляется по виду деформированного состояния системы.

Учитывая соотношения (11), определим минимум функционала (6), используя уравнения Эйлера-Лагранжа:

$$\frac{\partial L}{\partial W_k} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial W_{k,t}} = 0, \quad (12)$$

где в функциях $W_{k,t}$ индексы после запятой указывают на дифференцирование по времени t .

После раскрытия уравнения (12) получим систему нелинейных дифференциальных уравнений для исследования динамической устойчивости пластин:

$$\sum_k \left[a_{ik} + \frac{\alpha P(t)}{aD} a_{ik} - 2b_{ik} + \frac{P(t)}{bD} b_{ik} + c_{ik} \right] W_k - \frac{\rho}{gD} \sum_k d_{ik} W_{k,tt} = \Phi_h, \quad (13)$$

где Φ_h – выражение, которое учитывает физическую нелинейность материала [5].

Коэффициенты уравнений (13) имеют вид:

$$\begin{aligned} a_{ik} &= \iint_{y,x} f_{k,xx} f_{i,xx} \delta \, dx \, dy; & b_{ik} &= \iint_{y,x} f_{k,xy} f_{i,xy} \delta \, dx \, dy; \\ c_{ik} &= \iint_{y,x} f_{k,yy} f_{i,yy} \delta \, dx \, dy; & d_{ik} &= \iint_{y,x} f_k f_i \delta \, dx \, dy. \end{aligned} \quad (14)$$

Техника эксперимента. В качестве анализа полученных результатов используется численный эксперимент. Составлена программа для решения нелинейных задач с применением итерационного метода для ПЭВМ.

На основании уравнений (13) проведен расчет на устойчивость шарнирно-опертой по краям квадратной пластины, на которую действует сжимающая динамическая нагрузка $P(t)$ в продольном и поперечном направлениях. Материал пластин считается нелинейно-упругим.

В зависимости от степени физической нелинейности E_1/E материала пластины и от величины динамической нагрузки $P(t)$ колебательный процесс при достижении критического значения резко нарушается, т.е. в системе наблюдается бурное выпучивание. Наблюдается превышение динамической критической силы над Эйлеровой в несколько раз в зависимости от соотношения числа волн, образовавшихся в продольном x и поперечном y направлениях.

Выводы. Разработан метод расчета на динамическую устойчивость пластин из физически нелинейных материалов при сжатии в двух направлениях. Получена система нелинейных дифференциальных уравнений для исследования динамической устойчивости пластин. Составлена программа для ПЭВМ для численного решения полученных нелинейных дифференциальных уравнений. В качестве примера выполнен расчет на динамическую устойчивость квадратной пластины при сжатии в двух направлениях. Рассмотрено влияние степени физической нелинейности материала пластины, величины динамической нагрузки $P(t)$ на критерии динамической устойчивости пластины.

Список литературы

1. Вольмир А. С. Устойчивость деформируемых систем. М.: Наука, 1967. 432 с.
2. Shafei E., Kabir M. Z. Dynamic stability optimization of laminated composite plates under combined boundary loading // Appl. Compos. Mater. 2011. Vol. 18, No 6. P. 539-557.
3. Иванов С.П. Расчет тоннелей на основе вариационного метода В.З. Власова // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2007. № 1. С. 82-86.
4. Иванов С.П., Иванова А.С. Динамическая устойчивость призматических оболочек // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Технологическая. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. С. 182-188.
5. Иванов С.П. Развитие теории расчета нелинейных пластинчатых систем: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.17. М., 2002. 225 с.
6. Власов В.З. Тонкостенные пространственные системы. М.: Госстройиздат, 1958. 502 с.
7. Лукаш П.А. Основы нелинейной строительной механики. М.: Стройиздат, 1978. 204 с.

THE DYNAMIC STABILITY OF PLATES IN TWO-WAY COMPRESSION

Ivanov Sergey Pavlovich, Ivanov Oleg Gennadevich, Ivanova Anastasia Sergeevna

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The method of dynamic stability analysis of plates in two-way compression is presented. The material of plates is nonlinear elastic.

Keywords: *dynamic stability, physically nonlinearity, plate*

УДК 539.9

РАСЧЕТ ПЛАСТИН И ПЛАСТИНЧАТЫХ СИСТЕМ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВАРИАЦИОННЫМ МЕТОДОМ В. З. ВЛАСОВА

Иванов Сергей Павлович, Иванова Анастасия Сергеевна

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
IvanovSP@volgatech.net

Представлен метод расчета пластин и пластинчатых систем на статическую устойчивость с помощью вариационного метода Власова при общем случае действия нагрузки. Получена система дифференциальных уравнений для исследования устойчивости пластинчатых систем.

Ключевые слова: *пластина, пластинчатая система, устойчивость*

Введение. Пластинчатые системы находят широкое применение в строительстве, машиностроении, приборостроении и других областях техники. Поэтому задачи расчета пластин и пластинчатых систем на устойчивость являются важными для науки и практики.

Исследованиям устойчивости стержней, пластин и пластинчатых систем посвящены работы многих авторов [1-5, 8]. Статический расчет пластинчатых систем в упругой среде на основе вариационного метода В. З. Власова был рассмотрен ранее [6].

Цель работы – разработать метод расчета пластин и пластинчатых систем на статическую устойчивость при общем случае действия нагрузки.

Решаемые задачи: 1) с помощью вариационного метода В. З. Власова и энергетического метода получить дифференциальные уравнения устойчивости пластин и пластинчатых систем; 2) в качестве примера выполнить расчет на устойчивость прямоугольной пластины.

Математическое моделирование. Рассмотрим пластинчатую систему (рис. 1), на которую действует сжимающая нагрузка P в поперечном направлении, сжимающая нагрузка αP – в продольном направлении; $\alpha=1,2,\dots,n$. На рисунке 1 $w=w(x,y)$ – перемещение точки K срединной плоскости пластин системы в направлении оси z .

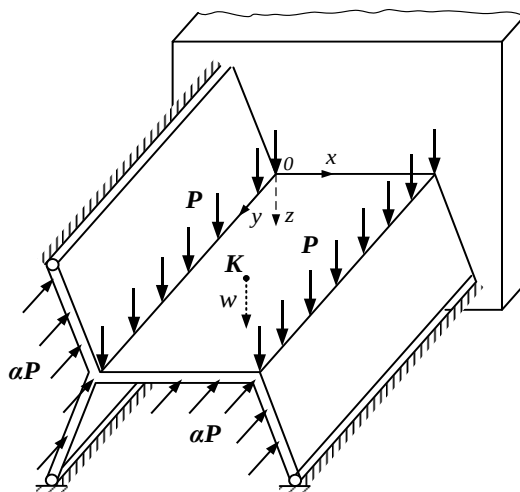


Рис. 1. Общая схема пластинчатой системы с действующими нагрузками

Функцию прогибов $w(x,y)$ пластин пластинчатой системы принимаем в виде разложений по В. З. Власову [7]:

$$w(x,y) = \sum_i W_i(y) f_i(x); \quad (i=1,2,3,\dots,n), \quad (1)$$

где $W_i(x)$ – обобщенная величина прогиба пластин, которая определяется из решения задачи; $f_i(y)$ – координатные функции, которые задаются из физического смысла задачи.

Запишем выражения для изгибающих M_x , M_y и крутящих M_{xy} моментов:

$$\begin{aligned} M_x &= -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) = -D \sum_{i=1}^n [W_i(y) f_i''(x) + \nu W_i''(y) f_i(x)]; \\ M_y &= -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) = -D \sum_{i=1}^n [W_i''(y) f_i(x) + \nu W_i(y) f_i''(x)]; \\ M_{xy} &= -D(1-\nu) \frac{\partial^2 w}{\partial xy} = -D(1-\nu) \sum_{i=1}^n W_i'(y) f_i'(x), \end{aligned} \quad (2)$$

где $D = \frac{E\delta^3}{12(1-\nu^2)}$ – цилиндрическая жесткость пластин системы; δ – толщина пластин; E , ν – соответственно модуль упругости и коэффициент Пуассона материала пластин.

Запишем выражение полной энергии для пластинчатой системы:

$$\Pi = \iint \left\{ \frac{1}{2} (M_x w_{xx} + M_y w_{yy} + 2M_{xy} w_{xy}) - \frac{Pw_x^2}{2} - \frac{\alpha Pw_y^2}{2} \right\} dx dy, \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} w_x &= \sum_{i=1}^n W_i(y) f_i'(x); \quad w_{xx} = \sum_{i=1}^n W_i(y) f_i''(x); \quad w_y = \sum_{i=1}^n W_i'(y) f_i(x); \\ w_{yy} &= \sum_{i=1}^n W_i''(y) f_i(x); \quad w_{xy} = \sum_{i=1}^n W_i'(y) f_i'(x). \end{aligned} \quad (4)$$

С учетом выражений (1), (2) и (4) полную энергию Π можно выразить через обобщенный прогиб W и его производные.

Определим экстремальное значение полной энергии (3), используя уравнение Эйлера-Лагранжа:

$$-\frac{d^2}{dy^2} \frac{\partial F}{\partial W_i''} + \frac{d}{dy} \frac{\partial F}{\partial W_i'} - \frac{\partial F}{\partial W_i} = 0, \quad (5)$$

где F – подинтегральная функция в выражении (3).

Раскрывая уравнение (5), получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений для расчета на устойчивость пластин и пластинчатых систем:

$$\sum_i \left[a_{ji} W^{IV} - \left(2b_{ji} - \frac{\alpha P a_{ji}}{a^* D} \right) W'' + \left(c_{ji} - \frac{P b_{ji}}{I^* D} \right) W \right] = 0, \quad (6)$$

где a^* – длина контура пластинчатой системы в поперечном направлении, на который действует сжимающая нагрузка αP ; l^* – суммарная длина ребер пластинчатой системы, на которые приходится действие нагрузки P .

Коэффициенты уравнений (6) имеют вид:

$$a_{ji} = \int_x f_i f_j dx; \quad b_{ji} = \int_x f_i' f_j' dx - \frac{V}{2} [f_i f_j' + f_i' f_j]; \quad c_{ji} = \int_x f_i'' f_j'' dx; \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots, n). \quad (7)$$

Полученные уравнения можно применять для расчета на устойчивость отдельных пластин, сжатых в двух направлениях, и для расчета пластинчатых систем.

В качестве примера рассчитаем на устойчивость шарнирно опертую по контуру прямоугольную пластинку, сжатую в двух направлениях (рис. 2).

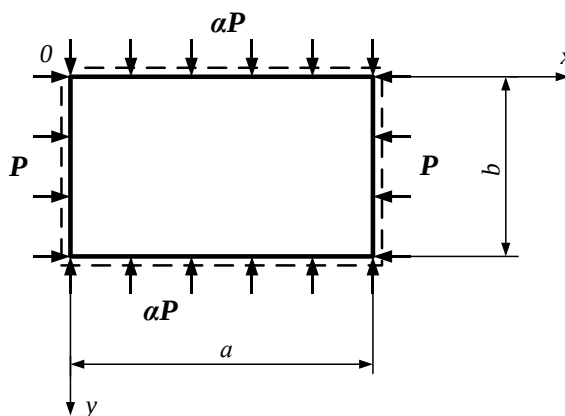


Рис. 2. Схема нагружения пластины

Выполним расчет в первом приближении:

$$w(x, y) = W_1(y) f_1(x). \quad (8)$$

Полагая, что потеря устойчивости происходит по одной полуволне синусоиды в направлении оси x , координатную функцию принимаем в виде

$$f_1(x) = \sin \frac{\pi x}{a}. \quad (9)$$

При расчете в первом приближении система дифференциальных уравнений устойчивости (6) будет состоять из одного уравнения:

$$a_{11} W_1^{IV} - \left(2b_{11} - \frac{\alpha P a_{11}}{a D} \right) W_1'' + \left(c_{11} - \frac{P b_{11}}{b D} \right) W_1 = 0, \quad (10)$$

где коэффициенты уравнения определяем по формулам (7):

$$a_{11} = \frac{a}{2}; \quad b_{11} = \frac{\pi^2}{2a}; \quad c_{11} = \frac{\pi^4}{2a^3}.$$

Форму потери устойчивости в направлении оси y принимаем в виде одной полу-волны синусоиды:

$$W_1(y) = W_{11} \sin \frac{\pi y}{b}. \quad (11)$$

Из уравнения (10) определяем величину критической силы $P_{кр}$:

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 D \left(\frac{a}{2b^4} + \frac{1}{ab^2} + \frac{1}{2a^3} \right)}{\frac{\alpha}{2b^2} + \frac{1}{2ab}}. \quad (12)$$

Для квадратной пластины ($a=b$) при одинаковой сжимающей нагрузке, действующей в двух направлениях ($\alpha=1$), получим погонную критическую нагрузку

$$p_{кр.} = \frac{P_{кр.}}{a} = 2 \frac{\pi^2 D}{a^2}. \quad (13)$$

Выводы

Полученное значение погонной критической нагрузки (13) совпадает с данными в работе [8]. Следовательно, данный метод подходит для расчета пластин на устойчивость при всестороннем сжатии.

Разработанный метод позволяет рассчитывать пластины и пластинчатые системы на устойчивость при сжатии в двух направлениях.

Список литературы

1. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. М.: Наука, 1967. 432 с.
2. Fujita K., Gotou A. Dynamic stability of an elastic beam subjected to follower forces // ASME 2012. Pressure Vessels and Piping Conference. 2012. Vol. 8. P. 241-249.
3. Shafei E., Kabir M. Z. Dynamic stability optimization of laminated composite plates under combined boundary loading // Appl. Compos. Mater. 2011. Vol. 18, No 6. P. 539-557.
4. Иванов С.П., Иванова А.С. Динамическая устойчивость призматических оболочек // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Технологическая. Йошкар-Ола, 2013. С. 182-188.
5. Иванов С.П., Иванов О.Г. Пластинчатые системы, контактирующие с упругой средой: монография. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. 164 с.
6. Иванов С.П. Расчет тоннелей на основе вариационного метода В.З. Власова // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2007. № 1. С. 82-86.
7. Власов В.З. Тонкостенные пространственные системы. М.: Госстройиздат, 1958. 502 с.
8. Вайнберг Д.В., Вайнберг Е.Д. Пластины, диски, балки-стенки. Прочность, устойчивость и колебания. Киев: Госстройиздат, 1959. 1052 с.

THE STABILITY ANALYSIS OF PLATES AND PLATE SYSTEMS BY VLASOV VARIATIONAL METHOD

Ivanov Sergey Pavlovich, Ivanova Anastasia Sergeevna

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The method of statical stability analysis of plates and plate systems by Vlasov variational method is presented. The set of differential equations of stability of plate systems is given.

Keywords: plate, plate system, stability

УДК 630.432

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ТУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Лопатин Альберт Марсович, Ласточкин Денис Михайлович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
lastochkindm@volgatech.net

Предлагается частный подход в разработке конструкции портативного индивидуально-го средства для тушения лесных пожаров посредством местного присыпания грунтом очагов возгорания. Обоснование конструкции и параметров мобильного землеразбрасывающего мотобура позволяет получить на выходе готовое решение индивидуального средства для тушения лесных пожаров.

Ключевые слова: *землеразбрасыватель, мотобур, лесной пожар*

Введение. Проблема повышения эффективности средств пожаротушения остается в настоящее время достаточно актуальной. В процессе тушения лесных пожаров в 2010 году выявлен ряд недостатков и противоречий. Одним из них является оснащённость индивидуальных огнеборцев. При тушении пожаров наиболее эффективно использование энергонасыщенных машин, но недостаточная маневренность, проходимость в лесных условиях зачастую ограничивает их применение [1]. В то же время существует другая группа индивидуальных огнеборцев, практически не ограниченная в маневренности, проходимости и количестве, но при этом недостаточно оснащённая и энергообеспеченная.

На сегодняшний день известны два способа тушения пожаров индивидуальными средствами: путем разбрызгивания жидкости из ранцевых устройств и посредством присыпания возгораний грунтом с помощью лопат. Недостатки разбрызгивания жидкости из ранцевых устройств – малый радиус действия и ограниченный объем жидкости. Недостатками ручного присыпания земель лопатами являются сильно ограниченный радиус действия, близость расположения огнеборца к возгоранию, низкая влажность разбрасываемого грунта, загрязненность грунта горючим гумусом, листьями, деревянными включениями, которые могут привести к активизации возгорания. Корневые включения, мешающие захвату лопатой грунта, в итоге приводят к ограниченной эффективности огнеборца.

Повышение эффективности тушения лесных пожаров огнеборцами целесообразно осуществить путем механизации процесса присыпания возгораний грунтом.

Цель работы – повышение эффективности тушения лесных пожаров индивидуальными огнеборцами путем обоснования конструкции и параметров мобильного землеразбрасывающего мотобура.

Решаемые задачи: 1) разработать конструкцию землеразбрасывающего мотобура, обеспечивающую срезание, подъем вдоль шнека и направленное разбрасывание грунта; 2) определить мощность, снимаемую с вала двигателя, которая необходима для работы предлагаемого мотобура.

Объект разработки и исследования. Землеразбрасывающий мотобур для тушения лесных пожаров является усовершенствованной конструкцией общеизвестных мотобуров с наличием механизма подъема и направленного разбрасывания земли. На конструкцию землеразбрасывающего мотобура и способ тушения лесных пожаров по-

дана заявка на изобретение № 2011124275, которая уже прошла формальную экспертизу.

На рис. 1 представлена кинематическая схема, а на рис. 2 изображена 3D-модель землеразбрасывающего мотобура. Устройство состоит из двигателя 1, ведущей звездочки привода двигателя с центробежной муфтой 2, находящейся в зацеплении с помощью цепи со звездочкой 3, лопастного разбрасывателя 4, зубчатой пары 5, подавателя 6, шнека 7, заключенного в трубу 8, режущих элементов 9 и ручек управления 10. Центробежная муфта 2 при малых оборотах двигателя автоматически разъединяет редуктор от двигателя, а при заедании шнека проскальзывает и не дает возможности двигателю заглохнуть.

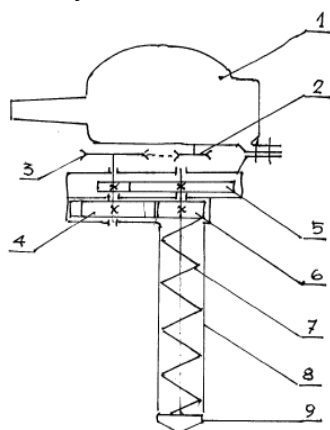


Рис. 1. Кинематическая схема устройства бурения и разбрасывания почвы

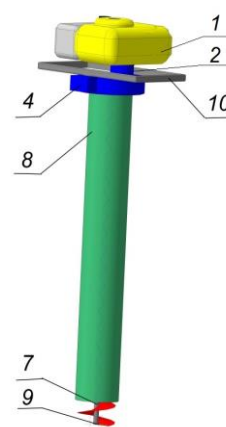


Рис. 2. 3D-модель устройства бурения и разбрасывания почвы

Устройство работает следующим образом. При работе двигателя вращающий момент с помощью цепи передается со звездочки 2 на звездочку 3, которая в свою очередь приводит во вращение лопастной разбрызгиватель 4 и зубчатую пару 5 со шнеком 7. В процессе работы устройства оператор осуществляет касание с грунтом вращающихся ножей 9, которые разбрасывают сухой гумус, листья и при дальнейшем погружении в грунт происходит разрыхление грунта ножами 9 с одновременным подъемом по шнеку 7 к подавателю 6, передающему грунт лопастному разбрызгивателю, который выбрасывает его.

Для корректировки направления грунта в полете в вертикальной плоскости в устройстве может быть установлен корректор направления. Направление в горизонтальной плоскости осуществляется вращением устройства относительно оси шнека.

Опыт использования существующих мотобуров для создания скважин в земле позволяет сформулировать общие требования к разрабатываемому землеразбрасывающему мотобуру:

1) заглубление ручного мотобура должно быть равномерное, под действием собственного веса. Быстрое погружение шнека не рекомендуется, так как оно может вызвать переполнение шнеков грунтом, прекращение выноса последнего и заклинивание шнека в трубе;

2) для ускорения работы и передвижения огнеборца к месту тушения пожара в труднодоступных местах, вес устройства должен составлять не больше 10 кг;

3) для исключения перегрузки при встрече рабочего органа с препятствием (камни, толстые корни) бур должен иметь предохранительное устройство и обратный ход шнека.

К мотобуру как к режущему инструменту предъявляются дополнительные требования: он должен обладать достаточной прочностью, ножи должны быть износостой-

кими, конструкция должна предусматривать простую сборку и разборку, а также легкую замену поломанных ножей. Согласно требованиям безопасности к конструкциям моторизированных инструментов, уровень шума на рабочем месте и предельно допустимые величины вибраций, измеряемые на поверхностях, с которыми контактируют руки работающих, не должны быть больше допустимых пределов.

Аналитическое моделирование. Производительность и энергоэффективность мотобура находятся в сложной зависимости от многих факторов: от диаметра и длины шнека, плотности грунта, от угла подъема винтовой линии шнека, коэффициентов трения при резании, трении грунта об шнек и стенки трубы. Каждый из этих факторов требует тщательного рассмотрения и анализа, но в рамках данной статьи рассмотрим первые две фазы работы – это резание и подъем грунта [2].

1) Мощность на резание почвы.

Основным параметром, характеризующим работоспособность предлагаемого устройства на первом этапе исследования, будет необходимый момент на резание почвогрунта.

В процессе бурения шнек испытывает напряжение, вызываемое сопротивлением резанию в результате деформации срезаемого грунта, трением между поднимаемой почвой, поверхностью шнека и стенками трубы.

Решив промежуточные схемы и равенства, усилие резания определяем выражением

$$P_{\text{деф}} = 2NkF\cos\delta(\operatorname{tg}\delta + f_1), \quad (1)$$

где F – площадь деформации для одной режущей кромки ножа, см^2 ; f_1 – коэффициент трения между ножом и грунтом; k – коэффициент пропорциональности, $\text{кг}/\text{см}^2$, зависящий от почвы; δ – угол, образуемый режущей кромкой ножа.

Учитывая, что нож имеет две кромки, подача на одну режущую кромку за один оборот (см) составит $S=S/2$.

После определения площади сечения, приходящейся на одну режущую кромку ножа, силы деформации и момента деформации почвы можно перейти к определению момента резания. Полагая, что сила сопротивления внедрения лезвия пропорциональна его длине, найдем общий момент резания, $\text{кг}/\text{см}$:

$$M_{\text{рез}} = r^2 \left[kS \cos\delta (\operatorname{tg}\delta + f_1) + k_1 \frac{\cos\psi}{\sin\delta} \right], \quad (2)$$

где ψ – угол наклона силы сопротивления почвы внедрению лезвия к плоскости, нормальной оси вращения; r – ширина лезвия, см .

2) Мощность на транспортирование почвы шнеком.

Мощность на транспортирование шнеком ($N_{\text{тр}}$) складывается из мощности N_1 , расходуемой на преодоление трения грунта о стенки трубы, и мощности N_2 , расходуемой на перемещение грунта вдоль оси шнека и на преодоление трения о винтовую поверхность.

Мощность, расходуемая на преодоление грунта о стенки трубы, определяется по формуле

$$N_1 = \frac{F_k v_a}{75}, \quad (3)$$

где v_a – абсолютная скорость или скорость по стенке трубы.

Сила трения грунта о внутреннюю поверхность трубы

$$F_k = R_c + Y \cdot \cos\beta \cdot \cos\varphi', \quad (4)$$

где $Y = \frac{QH}{3,6v_1}$ – составляющая скорости и подъема грунта; Q – производительность

шнека, т/ч; v_1 – осевая составляющая абсолютной скорости грунта; $R_c = \frac{Y\omega_2^2 d}{2g}$ – центробежная сила; $\omega_2 = \frac{2v_2}{d}$ – угловая скорость грунта; $\varphi_1(0,7 \div 0,8)\gamma_0$; γ_0 – угол естественного откоса грунта в покое; d – диаметр шнека.

Мощность, расходуемая на перемещение груза вдоль оси шнека и преодоление трения о винтовую поверхность (N_2), рассчитывается следующим образом:

$$N_2 = \frac{P'_0 d (W - W_2)}{150} + \frac{P''_0 d (W - W_2)}{150}, \text{ л.с.}; \quad (5)$$

где P'_0 – движущая сила, касательная к окружности, проходящая через центр давления груза на винтовую поверхность: $P'_0 = Y \sin \beta \operatorname{tg}(\alpha_0 + \rho_1)$; P''_0 – окружная сила на наружной кромке винта: $P''_0 = F_k \sin \theta \operatorname{tg}(\alpha_0 + \rho_1)$; α_0 – угол трения грунта о поверхность шнека; β – угол наклона транспортера к горизонту; θ – угол подъема винтовой линии, по которой движется материальная частица грунта.

Численное решение и анализ результатов. Зададим исходные данные и определим значения общего момента резания.

Дано: $k=3,0$ кг/см²; $S=4,0$ см; $r=4$ см; $\delta=25^\circ$; $f=0,5$; $k_l=3,6$; $\psi=54^\circ$; $n=500$ об/мин.

$$M_{рез} = 4^2 \left[3,4 \cdot \cos 25 (\operatorname{tg} 25 + 0,5) + 3,6 \frac{\cos 54}{\sin 25} \right] = 127,5 \text{ кг/см.}$$

Мощность на резание:

$$N_{рез} = \frac{M_{рез} n}{71620} = \frac{127,5 \times 500}{71620} \approx 1,41 \text{ л.с.}$$

Зададим исходные данные и определим значение мощности, расходуемой на преодоление трения грунта о стенки трубы:

Дано: $Q=2$ т/ч; $v=0,25$ м/с; $H=1$ м; $f_2=0,9$; $\cos \beta \cdot \cos \varphi' = 0,8$; $\omega_2 = 11,5$ 1/с.

$$N_1 = \frac{3,06 \cdot 0,5}{75} \approx 0,02 \text{ л.с.}$$

Зададим исходные данные и определим значение мощности, расходуемой на перемещение грунта вдоль оси шнека и на преодоление трения о винтовую поверхность:

Дано: $\alpha_0 = 15^\circ$; $\rho_1 = 31^\circ$; $\theta = 27^\circ$.

$$N_2 = \frac{1,61 \cdot 0,08(12,5 - 8)}{150} + \frac{1,58 \cdot 0,08(12,5 - 8)}{150} = 0,06 \text{ л.с.}$$

Общая мощность транспортирования $N_{тр}$:

$$N_{тр} = N_1 + N_2 = 0,06 + 0,02 = 0,08 \text{ л.с.}$$

С учетом затрат мощности на зацепление и дробление грунта между шнеком и трубой $N_{тр} = 0,12$ л.с.

Мощность на валу шнека

$$N_{ш} = \frac{N_{рез} + N_{тр}}{\eta_{ш}} = \frac{1,53}{0,97} = 1,58 \text{ л.с.}$$

$\eta_{ш}$ – КПД подшипников вала шнека 0,97.

Мощность, снимаемая с вала двигателя,

$$N_{д} = \frac{k_0 + N_{ш}}{\eta_p} = \frac{1,50 + 1,58}{0,9} \approx 2,6 \text{ л.с.,}$$

где $k_0 = 1,25 \dots 1,50$ – коэффициент запаса мощности, учитывающий возможность пуска бура под нагрузкой и резание тонких корней; $\eta_p = 0,90$ – КПД редуктора, зависящий от передаточных пар и подшипников.

Исходя из полученных формул, на общий момент для резания, осевую силу и мощность влияют механические свойства почвогрунтов, диаметр и подача шнека, геометрические параметры шнека. Чем выше предел прочности почвогрунтов, тем больше сопротивление резанию, тем выше значения крутящих моментов.

С увеличением диаметра шнека d и подачи S увеличиваются ширина и толщина срезаемого слоя режущими кромками ножа, следовательно, будут возрастать силы и момент резания.

Значительно влияют на силы резания геометрические параметры режущего ножа δ , угол наклона режущей кромки ψ и радиус при вершине ножа. При уменьшении угла δ осевая сила уменьшается, а тангенсальная увеличивается, тем самым и увеличивается крутящий момент. При уменьшении угла δ сопротивление резанию в связи с увеличением переднего угла резания уменьшается, но одновременно увеличивается ширина среза и уменьшается его толщина. Последнее приведет к деформации срезаемой стружки.

Полученное значение мощности, снимаемого с вала двигателя, означает, что мощности существующих бензодвигателей массой до 7 кг будет достаточно для осуществления рабочего процесса землеразбрасывающего мотобура [3].

Выводы

1. Предложены способ тушения лесных пожаров мобильными огнеборцами и устройство землеразбрасывающего мотобура.

2. Определена мощность, снимаемая с вала двигателя, которая необходима для работы предлагаемого мотобура.

3. Проведенные теоретические исследования процесса бурения позволят определить влияние геометрических параметров мотобура на процесс резания почвы. Полученные результаты будут использованы в дальнейших исследованиях в данном направлении.

Список литературы

1. Почитаева М.В., Ислаев М.Д. Повышение эффективности профилактики лесных пожаров // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. Йошкар-Ола, 2014. № 1(21). С. 42–52.

2. Сидыганов Ю.Н., Онучин Е.М., Ласточкин Д.М. Имитационное моделирование экологического ущерба лесной среде при несплошных рубках леса // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2010. № 190. С. 124–133.

3. Сидыганов Ю.Н., Онучин Е.М., Ласточкин Д.М. Модульные машины для рубок ухода и лесовосстановления: монография. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. 336 с.

DEVELOPMENT OF THE DEVICE PERSONAL MECHANISM FOR PUT OUT A FOREST FIRE

Lopatin Albert Marsoovich, Lastochkin Denis Mikhailovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Offers a private approach in development of the device personal mechanism for put out a forest fire by local sprinkled the ground fires. Rationale mechanism and parameters ground spreader portable drilling rig you to output a ready solution of individual means for fighting forest fires.

Keywords: *ground spreader, portable drilling rig, a forest fire*

УДК 630*32

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОРТИМЕНТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЗАГОТОВКИ ЛЕСА В НАСАЖДЕНИЯХ С БОЛЬШОЙ ДОЛЕЙ НЕЛИКВИДНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Махмутов Рамиль Мухаметович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола

Разработано и исследовано устройство для утилизации неликвидной древесины в лиственных лесах при лесозаготовках по сортиментной технологии. Показано преимущество разработанного дополнительного приспособления, устанавливаемого на харвестере и форвардере по сравнению с другими специализированными машинами для утилизации неликвидной древесины.

Ключевые слова: неликвидная древесина, сортиментная заготовка, лиственные леса

Введение. Сортиментная технология заготовки леса, предполагающая использование комплекса лесозаготовительных машин «харвестер – форвардер», в последние десятилетия заняла лидирующие позиции в мировой лесной промышленности [1-3]. География использования данного технологического комплекса машин, первоначально ограниченная регионом хвойных бореальных лесов, постепенно расширяется и начинает охватывать другие лесорастительные районы, в том числе и район мелколиственных лесов. Однако природно-производственные условия, например, перестойного осинника резко отличаются от условий спелого ельника, что приводит к существенному снижению показателей эффективности работы комплекса «харвестер – форвардер».

Снижение производительности сортиментной технологии в мелколиственных лесах в первую очередь обусловлено тем, что в этих насаждениях значительную долю запаса древесины составляет неликвидная и малоценная (дровяная) древесина, работа с которой потребляет значительную часть временных и материальных ресурсов, при этом на рынке круглых лесоматериалов спрос на эту древесину, как правило, полностью отсутствует.

Практика лесозаготовок показывает, что обработка неликвидной и дровяной древесины имеет только затратную составляющую и не предполагает получение какой-либо выгоды. Это обстоятельство обуславливает наиболее перспективное направление повышения эффективности, связанное с минимизацией затрат на обработку неликвидной древесины и заключающееся в её дроблении и оставлении на вырубке для перегнивания. При этом в настоящее время не разработаны устройства и технологические приёмы, способные эффективно реализовать данный способ утилизации неликвидной древесины, в том числе с учётом экологической безопасности и трудоёмкости последующих лесовосстановительных работ [4, 5].

Разработка обозначенных технических и технологических средств требует проведения комплексных научных исследований, касающихся изучения физико-механических свойств неликвидной древесины в мелколиственных лесах, характера процессов взаимодействия неликвидной древесины с технологическим оборудованием для её дробления, влияния операций дробления неликвидной древесины на технологический процесс лесосечных работ в целом.

В этой связи разработка технических и технологических решений, направленных на повышение эффективности работы комплекса «харвестер – форвардер» в насаждениях с большой долей неликвидной и малоценной древесины, характерных в первую очередь для зоны мелколиственных лесов, является актуальной задачей, имеющей научную и практическую значимость.

Цель работы – повышение эффективности работы комплекса машин «харвестер – форвардер» на лесосеках с большой долей неликвидной древесины за счёт разработки комплекса технических и технологических средств, обеспечивающих дробление и заделку в грунт этой древесины.

Решаемые задачи: 1) на базе анализа научно-технической информации обосновать наиболее перспективные направления и методы научных исследований по разработке технических и технологических средств для утилизации неликвидной и дровяной древесины на лесосеке; 2) разработать технические и технологические решения, обеспечивающие эффективную утилизацию неликвидной и дровяной древесины на лесосеке комплексом «харвестер – форвардер»; 3) выполнить оценку экономической эффективности предложенных технических и технологических решений; 4) дать практические рекомендации по повышению эффективности разработки лесосек с большой долей неликвидной древесины комплексом «харвестер – форвардер».

Методы исследования. Теоретические исследования выполнены с помощью методов математического моделирования рабочих процессов машин, основанных на базовых законах механики машин, и методов математического моделирования технологических процессов, основанных на функциональном анализе и анализе трансформаций предмета труда и энергии, с применением методов имитационного моделирования систем с выраженными стохастическими свойствами и методов многокритериальной параметрической оптимизации. Экспериментальные исследования выполнены методами наблюдений за физико-механическими характеристиками неликвидной и дровяной древесины в зоне мелколиственных лесов, лабораторных исследований рабочих процессов полноразмерной физической модели рабочих органов устройства для утилизации неликвидной и дровяной древесины на лесосеке, а также полигонных исследований харвестера и форвардера, оснащённых устройством для утилизации неликвидной и дровяной древесины, с применением методов математического планирования экспериментальных исследований и статистической обработки полученных результатов.

Методом полевых наблюдений определены качественные и геометрические характеристики неликвидной и дровяной древесины, а методом лабораторных исследований – её механические свойства. По результатам лабораторных исследований определены силовые и энергетические характеристики процессов измельчения неликвидной и дровяной древесины (дробления раздавливанием) при различных условиях.

Моделирование процесса функционирования технологических машин с оборудованием для дробления утилизируемой на лесосеке древесины выполнено на базе методов имитационного моделирования и механики машин с использованием уравнений Лагранжа второго рода в два этапа. На первом этапе дано математическое описание рабочих нагрузок, действующих непосредственно на рабочие органы устройства для дробления древесины раздавливанием в процессе его функционирования. На втором этапе рассмотрены системы харвестер с устройством для дробления древесины и форвардер с этим же устройством и определены энергетические характеристики функционирования этих систем при утилизации неликвидной и дровяной древесины на лесосеке.

Процесс функционирования устройства для утилизации древесины на лесосеке изучался на разработанной эмпирико-теоретической математической модели. Поступающая в устройство утилизируемая древесина представлена случайными процессами изменения количества брёвен, их среднего диаметра и доли площади сечения, поражённой гнилью. Путём обработки этих процессов определяются с учётом погрешности сигналы ультразвуковых датчиков, по данным которых устанавливается рабочий просвет в обжимном узле устройства в соответствии с предполагаемой степенью обжата и определяются предполагаемые значения сигналов ультразвуковых датчиков, установленных на выходе из устройства. На следующем этапе моделируются рабочие усилия в узле на основе действительной степени обжата и эмпирических данных, полученных при исследовании физико-механических свойств неликвидной и дровяной древесины. Также по действительной степени обжата древесины и с учётом погрешности определяются сигналы ультразвуковых датчиков, расположенных на выходе из устройства, которые сравниваются с определёнными ранее предполагаемыми значениями. Разность действительных и предполагаемых значений ультразвуковых датчиков является сигналом обратной связи, на основе которого корректируется рабочий просвет в обжимном узле устройства.

Результаты исследования. Разработаны технические и технологические решения, обеспечивающие утилизацию неликвидной и дровяной древесины на лесосеке комплексом «харвестер – форвардер», и представлены их математические модели. Разработанное устройство устанавливается на харвестере или форвардере таким образом, чтобы утилизируемая древесина, уложенная оператором продольно перед колёсами машины, в процессе передвижения машины к следующей рабочей позиции попадала в устройство и подвергалась в нём дроблению раздавливанием.

На стенде в соответствии с планом дробного 4-факторного эксперимента определены влияние на основное усилие раздавливания, средний характерный размер измельчённой древесины и показания ультразвуковых датчиков на входе и выходе следующих факторов: среднего диаметра и длины брёвен, доли площади поперечного сечения, поражённой гнилью, и коэффициента обжата брёвен при раздавливании. Таким образом были изучены характеристики неликвидной и дровяной древесины в мелколиственных лесах и её отдельные физико-механические свойства, определяющие энергоёмкость и качество процесса утилизации путём дробления раздавливанием.

Неликвидная и дровяная древесина в мелколиственных лесах представлена главным образом вершинами, сучьями и частями стволов лиственных деревьев осины, берёзы, липы. Наибольших трудозатрат в процессе утилизации требует стволовая древесина, имеющая фауты, которые делают нерентабельной её заготовку. В силу того что в мелколиственных лесах заготавливается, как правило, сырьё для плитной промышленности, основными фаутами являются гниль и суковатость. В результате наблюдений на 50 опытных площадках, заложенных в соответствии с требованиями ОСТ, были определены статистические характеристики объёмов и размерных параметров лесоматериалов в зависимости от типа леса и возраста насаждения.

Практика лесозаготовок в мелколиственных лесах показывает, что наиболее рациональным методом утилизации порубочных остатков является их оставление для перегнивания. Естественные процессы разложения древесины в почвенном и напочвенном слоях протекают достаточно эффективно при диаметре лесоматериалов не более 5 см, что обуславливает необходимость измельчения крупных фаутных лесоматериалов.

Каждый опыт повторялся 3 раза, что обеспечивало 95% надёжность оценки фиксируемых выходных параметров – реализаций случайных процессов энергопотребления и усилий обжима. По этим реализациям затем рассчитывались средние за опыт значения энергоёмкости и усилия обжима утилизируемой древесины. Также после каждого опыта проводился инструментальный контроль качества дробления путём определения доли кусков древесины, имеющих поперечный размер более 5 см. Во всех опытах эта доля не превышала 5%.

Сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований показало их совпадение в пределах 10% погрешности, что позволяет сделать вывод об адекватности разработанных математических моделей.

Дана оценка экономической эффективности использования комплексов «харвестер – форвардер» с устройством для утилизации неликвидной и дровяной древесины на лесосеке при лесозаготовках в широколиственных лесах. В сравнении с альтернативными вариантами, предполагающими либо использование мульчера, либо вывозку дровяной древесины экономия составила в среднем составила 178 руб./м³ утилизируемой древесины.

Выводы

1. Наиболее перспективным направлением утилизации неликвидной и дровяной древесины в широколиственных лесах при лесозаготовках по сортиментной технологии, обеспечивающим минимум энергетических затрат и максимальную рентабельность лесосечных работ, является её измельчение путём дробления раздавливанием до достижения характерного размера не более 5 см. При этом использование дополнительных приспособлений для утилизации, устанавливаемых на харвестере и форвардере, более целесообразно, чем использование специализированных машин.

2. Путём лабораторных исследований определены энергосиловые характеристики процесса дробления брёвен неликвидной древесины методом раздавливания. Установлено, что для достижения необходимого конечного характерного размера утилизованной древесины в 5 см степень обжатия брёвен должна быть не менее 55% от их начального размера. Также установлено, что конечный характерный размер может быть эффективно проконтролирован при помощи ультразвуковых датчиков.

3. Сравнительная оценка различных вариантов технических и технологических решений показала наибольшую эффективность устройств для утилизации, устанавливаемых на харвестер и форвардер. Подача утилизируемой древесины, предварительно уложенной продольно по следу машины, осуществляется за счёт поступательного движения машин при перемещении к новой рабочей позиции. Установлено, что в среднем энергозатраты на утилизацию древесины составляют 0,27 МДж/м³.

4. Теоретическими исследованиями установлено, что производительность комплекса «харвестер – форвардер» в технологическом процессе с утилизацией неликвидной древесины повышается в среднем на 17%, а энергоёмкость снижается на 28% по сравнению с технологическими процессами, предполагающими трелёвку неликвидной и дровяной древесины на верхний склад.

5. Разработан экспериментальный образец и проведены его лабораторные и полигонные исследования, подтверждающие его работоспособность. Сходимость результатов теоретических и экспериментальных исследований в пределах 10%-й погрешности подтверждает адекватность разработанных математических моделей.

6. Оценка экономической эффективности выполнения лесосечных работ по сортиментной технологии с утилизацией неликвидной и дровяной древесины показала повышение рентабельности лесосечных работ на 15%.

Рекомендации

1. Рекомендуется применение устройств для утилизации древесины при лесозаготовках в широколиственных лесах комплексом «харвестер – форвардер» при доле неликвидной и дровяной древесины более 15% от вырубаемого запаса.

2. Рекомендуются следующие типоразмеры устройств для утилизации неликвидной и дровяной древесины на лесосеке (по максимальному диаметру утилизируемой стволовой древесины), устанавливаемых на харвестер или форвардер, оптимальные по критерию энергоматериалоёмкости: для средневозрастных и приспевающих насаждений – до 0,2 м; для спелых и перестойных насаждений – до 0,35 м.

3. Для контроля качества дробления утилизируемой древесины и снижения энергоёмкости рекомендуется использование ультразвуковых датчиков на входе и на выходе устройства, при этом следует устанавливать один датчик на каждые 5 см периметра входного и выходного окон.

4. Рекомендуется утилизировать древесину при помощи харвестера с устройством для утилизации не более 25 м³/га, при помощи форвардера с устройством для утилизации не более 80 м³/га.

Список литературы

1. Александров В.А. Механизация лесосечных работ в России. СПб.: СПбЛТА, 2000. 208 с.

2. Ширнин Ю.А., Рукомойников К.П., Онучин Е.М. Процессы комплексного освоения участков лесного фонда при малообъемных лесозаготовках: научное издание. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. 196 с.

3. Онучин Е.М. Подготовка операторов лесозаготовительных машин на базе специализированного учебного полигона // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 2. С. 250-257.

4. Герасимов Ю.Ю., Сүнёв В.С. Экологическая оптимизация технологических процессов и машин для лесозаготовок. Йоенсуу: Изд-во Университета Йоенсуу, 1998. 178 с.

5. Романов Е.М., Онучин Е.М. Подходы к разработке и исследованию инновационной системы эффективного устойчивого лесопользования и лесовосстановления // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 3(13). С. 3-10.

IMPROVEMENT OF THE EFFECTIVENESS OF CUT-TO-LENGTH SYSTEM IN PLANTATIONS WITH A LARGE PROPORTION OF ILLIQUID WOOD

Mahmutov Ramil Muhametovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Developed and investigated a device for recycling illiquid wood in deciduous forests at cut-to-length method. Said about the advantage of the additional device designed to be installed on a harvester and forwarder compared to other specialized machines for recycling of illiquid wood.

Keywords: *illiquid wood, cut-to-length method, deciduous forests*

УДК 66.097.3

АВАРИЙНАЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УТИЛИЗАЦИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ С ПОМОЩЬЮ КАТАЛИТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ СЖИГАНИЯ

Медяков Андрей Андреевич, Каменских Александр Дмитриевич

ФБГОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
MedyakovAA@volgatech.net

Рассмотрены основы аварийной и технологической утилизации углеводородов с использованием каталитических устройств сжигания, которые позволяют сократить выбросы вредных газов в атмосферу в связи со снижением температуры горения и более полным сжиганием газа. Представлены результаты математического моделирования принципов функционирования каталитических устройств для аварийной и технологической утилизации газообразных углеводородов.

Ключевые слова: каталитическое сжигание, аварийная утилизация, технологическая утилизация, факельные установки, низкотемпературное окисления углеводородов

Введение. Каталитические устройства для полного низкотемпературного окисления углеводородов могут использоваться в различных областях вместо традиционных устройств факельного сжигания. Однако по сравнению с традиционными источниками тепла каталитические устройства сжигания имеют ряд преимуществ. К ним относятся:

- 1) полнота сжигания топлива, которая способствует повышению эффективности процесса горения;
- 2) снижение температуры процесса горения, которое обеспечивает конструктивные преимущества каталитических устройств горения;
- 3) сокращение выбросов вредных газов в атмосферу в связи со снижением температуры горения и более полным сжиганием топлива;
- 4) снижение минимальной концентрации топлива в смеси до 0,5 % объема [1].

Традиционные факельные установки используются на объектах сбора, подготовки и переработки нефти и газа для аварийного и технологического сжигания газообразных углеводородов. Использование каталитических устройств для аварийной и технологической утилизации позволяет сократить выбросы вредных газов в атмосферу в связи со снижением температуры горения и более полным сжиганием топлива по сравнению с традиционными факельными устройствами сжигания. Непосредственно заменяя традиционные устройства факельного сжигания разрабатываемыми системами, можно повысить безопасность утилизации газообразных углеводородов.

При размещении узлов и систем газопроводов и газораспределительных систем возможны ситуации накопления газообразных углеводородов в помещениях. Непосредственное проветривание помещений приводит к загрязнению атмосферы сильными парниковыми газами. В таких ситуациях эффективным является использование каталитических устройств для полного низкотемпературного окисления газообразных углеводородов в воздухе помещения. Процесс горения на поверхности каталитического наполнителя начинается с концентрации метана 0,5%

объема, что приблизительно в 9 раз ниже взрывоопасной концентрации. Это позволяет производить утилизацию скопившегося в помещении газа при периодическом проветривании помещений через каталитические устройства сжигания. При осуществлении этого процесса выделяется теплота, которая может быть использована для обогрева проветриваемых помещений, причем уходящие после процесса каталитического горения продукты не содержат угарного газа, являются безопасными и могут быть возвращены в помещение.

В настоящее время разработаны различные конструкции каталитических устройств сжигания [1-9]. Наибольшее количество конструкций включают в себя неподвижный слой каталитического наполнителя, через который пропускается сжигаемая смесь [1-6]. В работах [7-9] описываются каталитические системы с псевдоожиженным и циркулирующим слоями наполнителя, что позволяет интенсифицировать процесс окисления. При этом все разработанные каталитические устройства сжигания обладают указанными выше преимуществами и могут быть использованы для аварийной и технологической утилизации газообразных углеводородов.

Цель работы – повышение эффективности аварийной и технологической утилизации углеводородов путем использования каталитических устройств сжигания, позволяющих сократить выбросы вредных газов в атмосферу в связи со снижением температуры горения и более полным сжиганием газа.

Решаемые задачи: 1) обзор существующих устройств каталитического сжигания углеводородов и анализ особенностей их функционирования; 2) разработка конструкции каталитической системы для аварийной и технологической утилизации углеводородов; 3) проведение математического моделирования особенностей работы устройства; 4) получение математических зависимостей для расчета основных конструктивных параметров каталитических устройств.

Математическое моделирование и анализ результатов. На рис. 1 представлена одна из конструкций каталитической системы для аварийной и технологической утилизации углеводородов, совмещающая в себе функции воздушного обогревателя.

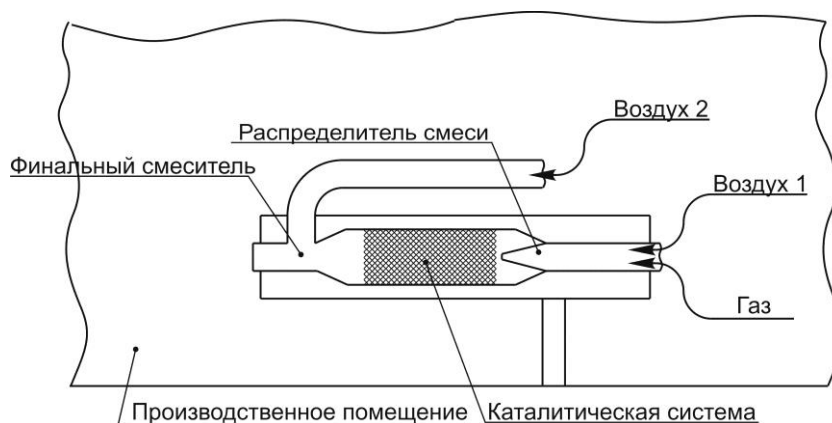


Рис. 1. Каталитическая система для загазованных помещений

В каталитическую систему, расположенную в производственном помещении, подается смесь топлива с воздухом. В результате реакции беспламенного горения

топливо полностью сгорает до паров воды и углекислого газа, которые непосредственно подаются в производственное помещение. В результате охлаждения продуктов горения в производственном помещении полностью утилизируется теплота сгорания топлива, в том числе теплота конденсации водяных паров. При этом для утилизации скопившегося в помещении горючего газа в подогреватель подается воздух из помещения (1). В результате из каталитической системы выходит смесь уходящих после процесса горения газов и избыточного воздуха с температурой, равной температуре беспламенного горения. Затем происходит смешивание выходящей из подогревателя смеси газов и воздуха 2 в количестве, необходимом для поддержания требуемой температуры подогретого воздуха, подаваемого в производственное помещение.

Производительность установки по воздуху рассчитывается по формуле

$$V_{возд} = \frac{k_{кат-ос} * F_{кат-ос} * \Delta t * Cp_{ц.г.}}{CH_4 * (C_{CO_2} + 2 * C_{H_2O}) * (T_{кат} - T_{B\_помещ}) + (Cp_{ц.г.}^1 * (T_{кат} - T_{B\_помещ}) + Cp_{ц.г.}^2 * (T_{B\_помещ} - T_{нар})) * (Cp_{ц.г.}^1 * (T_{кат} - T_{B\_помещ}) + Cp_{ц.г.}^2 * (T_{B\_помещ} - T_{нар}))} * \left(\frac{Q_B^P - C_{CH_4} * (T_{горения} - T_{нач}^{мон}) - 2 * C_{O_2} * (T_{горения} - T_{нач}^{O_2}) - (C_{CO_2} + 2 * Cp_{O_2}) * (T_{кат} - T_{горения})}{Cp_{ц.г.}^0 * (T_{кат} - T_{нар})} \right),$$

где $V_{возд}$ – производительность установки по воздуху; CH_4 – концентрация метана в вентилируемом воздухе; $T_{B\_помещ}$ – температура нагретого воздуха, подаваемого в помещение; Q_B^P – высшая удельная теплота сгорания топлива; $Cp_{ц.г.}^0$ – удельная теплоемкость циркулирующего газа при постоянном давлении в диапазоне $[T_{нар} \dots T_{кат}]$; $T_{нар}$ – температура окружающей среды; $Cp_{ц.г.}^1$ – удельная теплоемкость циркулирующего газа при постоянном давлении в диапазоне $[T_{B\_помещ} \dots T_{кат}]$; $Cp_{ц.г.}^2$ – удельная теплоемкость циркулирующего газа при постоянном давлении в диапазоне $[T_{нар} \dots T_{B\_помещ}]$; $T_{кат}$ – температура катализатора; $T_{о.о.}$ – температура газа, поступающего в атмосферу; Cp_{ch4} – удельная теплоемкость метана при постоянном давлении; $T_{горения}$ – температура каталитического горения; $T_{нач}^{мон}$ – температура топлива; Cp_{O_2} – удельная теплоемкость кислорода при постоянном давлении; $T_{нач}^{O_2}$ – температура кислорода; $k_{кат-ос}$ – коэффициент теплопередачи «катализатор – окружающая среда»; $F_{кат-ос}$ – площадь теплопередачи катализатор – окружающая среда.

При этом температура нагретого воздуха, подаваемого в помещение в результате работы установки, определяется по формуле

$$T_{B\_помещ} = \frac{V_{помещ} * CH_4 * (T_{нар1} - T_{нар})}{V_{возд}} + T_{нар},$$

где $V_{помещ}$ – объем производственных помещений; $T_{нар1}$ – температура в помещении после проветривания.

Приведенные зависимости позволяют рассчитать температуру нагретого воздуха, подаваемого в помещение при работе установки, при различной производительности установки. Результаты расчета при различных концентрациях горючего газа приведены на графиках (рис. 2-4).

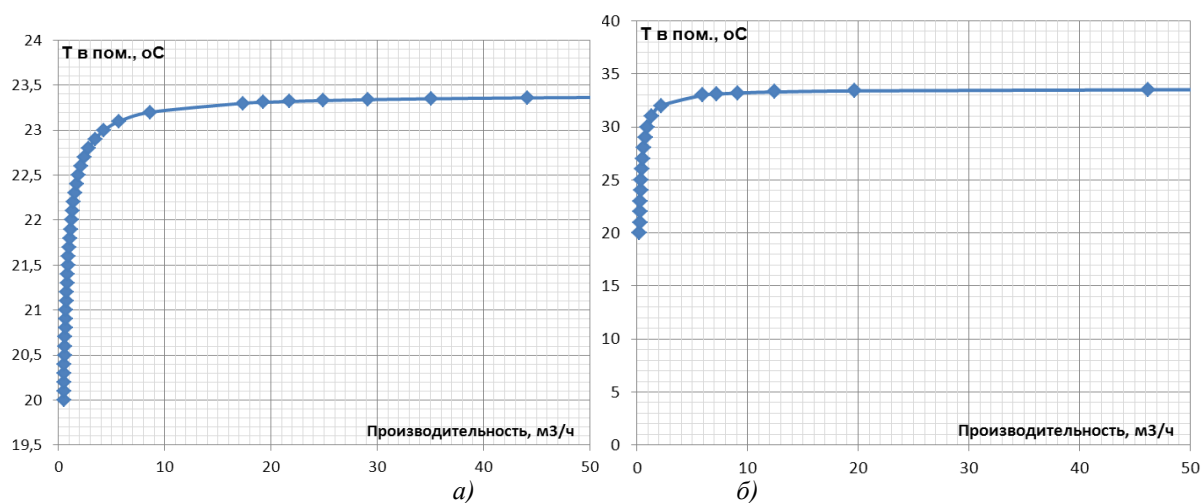


Рис. 2. Результаты расчета для концентраций горючего газа 0,01 (а) и 0,02(б) объемных

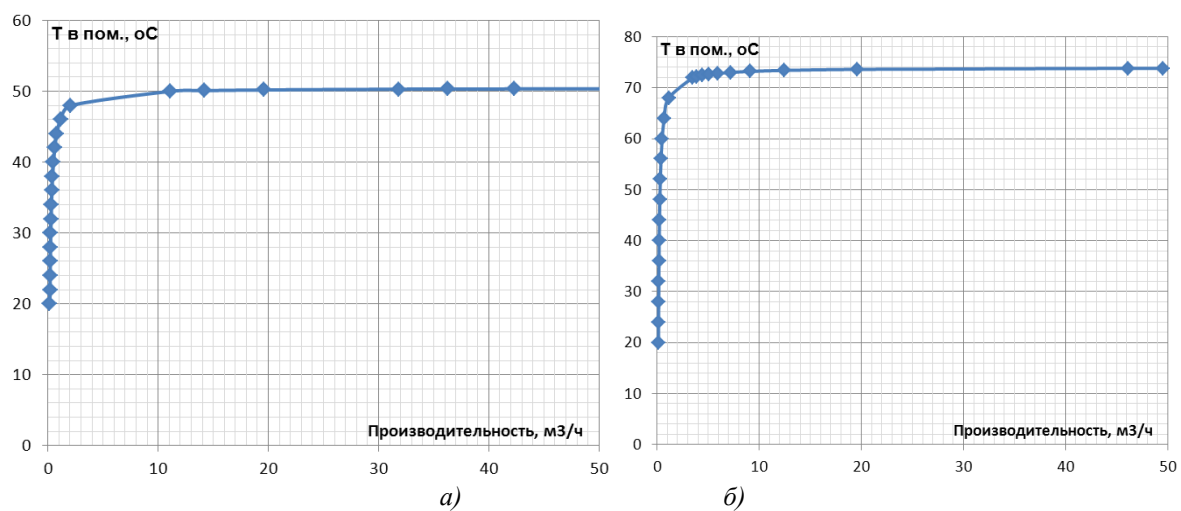


Рис. 3. Результаты расчета для концентраций горючего газа 0,03 (а) и 0,04 (б) объемных

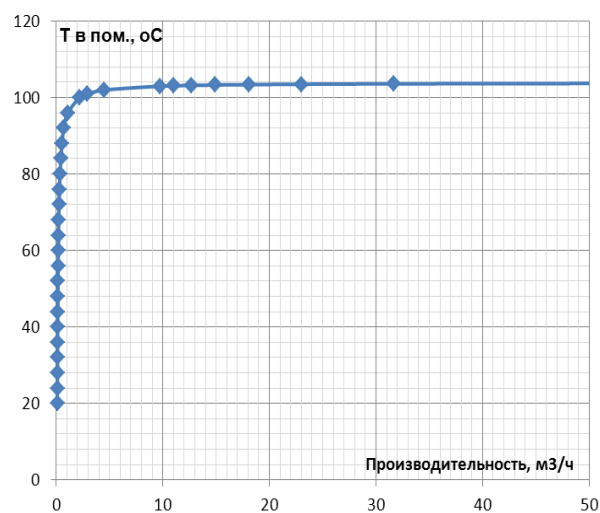


Рис. 4. Результаты расчета для концентрации горючего газа 0,05 объемных

Выводы. Использование каталитических устройств для аварийной и технологической утилизации позволяет сократить выбросы вредных газов в атмосферу в связи со снижением температуры горения и более полным сжиганием топлива по сравнению с традиционными факельными устройствами сжигания. Заменяя традиционные устройства факельного сжигания разрабатываемыми системами, можно повысить безопасность утилизации газообразных углеводородов. Предложенный принцип функционирования каталитических систем и полученные математические зависимости позволяют рассчитать основные конструктивные параметры каталитических устройств, предназначенных для аварийной и технологической утилизации газообразных углеводородов.

Список литературы

1. Экологически чистое окисление углеводородных газов в каталитических нагревательных элементах / Лукьянов Б. Н. и [др.] // Химия в интересах устойчивого развития. 2001. № 9. С. 667–677.
2. The development of novel metal-based combustion catalysts / Van Giezen J.C., Intven M., Meijer M. D. et al. // Catal. Today. 1999. No 47. P. 191-197
3. Zhi-yong P., Chao-yang D., Shi-kong S. A novel two-stage process for catalytic oxidation of methane to synthesis gas // Ranliao Huaxue Xuebao. 2000. No 4. P. 348.
4. Theophilos P., Xenophon V. Development of a novel heat-integrated wall reactor for the partial oxidation of methane to synthesis gas // Catal. Today. 1998. No 46. P. 71-81.
5. Носков А. С. Каталитическая очистка газов от органических примесей и оксидов азота в режиме движущейся тепловой волны // Физика горения и взрывов. 1997. Т. 33, № 3. С. 49-60.
6. Matros Yu.Sh., Noskov A.S., Chumachenko V.A. Progress in reverse-process application to catalytic incineration problems // Chem. Eng. Sci. 1993. No 32. P. 89-98.
7. Ismagilov Z. R., Kerzhentsev M. A. Fluidized bed catalytic combustion // Catal. Today. 1999. No 47. P. 339-346.
8. Медяков А.А., Каменских А.Д. Разработка новых каталитических систем для процессов получения биогаза // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 3. С. 88-94.
9. Повышение эффективности разрабатываемых каталитических систем для утилизации биогаза / Онучин Е.М. и [др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 78. С. 528-541.

EMERGENCY AND TECHNOLOGICAL UTILIZATION OF HYDROCARBONS USING CATALYTIC COMBUSTION SYSTEMS

Medyakov Andrey Andreevich, Kamenskih Aleksandr Dmitrievich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The article covers the basics of emergency and technological utilization of hydrocarbons using catalytic combustion systems that reduce the emission of harmful gases into the atmosphere due to lower combustion temperatures and more complete combustion of the gas. The results of mathematical modeling of the principles of operation of catalytic devices for emergency and technological utilization of gaseous hydrocarbons.

Keywords: *catalytic combustion, emergency utilization, technological utilization, flare units, low-temperature oxidation of hydrocarbons*

УДК 66.097.3

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СЖИГАНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ

Медяков Андрей Андреевич, Каменских Александр Дмитриевич

ФБГОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
MedyakovAA@volgatech.net

В результате сравнения различных вариантов каталитических устройств, разработанных к настоящему времени, выявлены основные недостатки существующих каталитических систем. Для их исключения разработаны конструкции каталитических систем для сжигания углеводородов, предназначенные для прикладного использования, с более интенсивным взаимодействием наполнителя и сжигаемой смеси. Использование разработанных технических решений каталитических устройств интенсифицирует процесс окисления, а также обеспечивает равномерные и стабильные условия протекания реакции, что позволяет эффективно применять их в прикладных областях.

Ключевые слова: каталитический наполнитель, циркулирующий слой, каталитическое устройство сжигания, каталитическая система, нестационарный режим

Введение. В настоящее время разработаны различные конструкции каталитических устройств сжигания [1-9]. Наибольшее количество конструкций включает в себя неподвижный слой каталитического наполнителя, через который пропускается сжигаемая смесь [1-6]. Однако из-за высокой экзотермичности реакции сжигания метана в части неподвижного слоя катализатора возникают «горячие точки» с температурой выше 1500°C. При этом может произойти постепенное разрушение каталитического наполнителя и выход из строя всей каталитической системы. В связи с этим использование каталитических систем является сложной технической задачей, в рамках которой важно применять специальную конструкцию каталитической системы в прикладных областях.

Для нахождения оптимальной конструкции каталитической системы произвели сравнение различных вариантов каталитических устройств, разработанных к настоящему времени, и выделили их преимущества и недостатки.

Для предотвращения разрушения наполнителя в ряде каталитических устройств сжигания применяют высокотемпературные каталитические наполнители. В частности, в работе [2] предлагается использовать спеченные металлические частицы, покрытые высокопористыми керамическими слоями. Использование высокотемпературных каталитических устройств оправданно в случае потребности в высоком температурном уровне теплоносителя (до 500...600°C), хотя при этом происходит значительное увеличение содержания оксидов азота (NO_x) в уходящих газах.

Для снижения температуры каталитического наполнителя и исключения ситуаций его перегрева применяют контролируемый и распределенный ввод топлива и окислителя (кислорода). В частности, в работе [3] предлагается каталитическое устройство сжигания с введением кислорода в две стадии. Однако использование таких каталитических устройств требует создания сложных систем распределенного ввода окислителя либо топлива, а также сложной системы регулирования количества вводимых в каждой части каталитической системы топлив и окислителя.

Для снижения температуры каталитического наполнителя до необходимых значений применяют дополнительное внешнее охлаждение. В частности, в работе [1] описываются каталитические горелки с применением внешнего водяного охлаждения. Однако использование таких каталитических устройств создает разность температуры внутри наполнителя от центра к его краям, что связано с необходимостью интенсивного охлаждения устройства сжигания. В результате происходит охлаждение пристеночных слоев наполнителя вплоть до прекращения в них процесса горения.

В работе [4] предлагается для охлаждения наполнителя использовать дополнительное внутреннее охлаждение с помощью керамического трубчатого каталитического устройства сжигания с сопряженным по теплу внутренним алюминиевым теплообменником. Однако использование таких каталитических устройств требует создания сложных теплообменников и предварительного сопряжения их по теплу.

Определенную группу представляют собой устройства, работающие не в стационарном режиме. В связи с образованием фронта горения (охлаждения) в неподвижном слое катализатора при низких концентрациях топлива в смеси был предложен реверс-процесс, позволяющий изменять направление движения фронта на обратное при изменении направления подачи смеси «топливо – окислитель», в результате в устройстве создается нестационарный режим сжигания [5, 6]. Однако подобные каталитические системы требуют сложной системы реверса потоков, которая должна быть способна функционировать при высоких температурах до 600°C.

Промежуточное место между каталитическими устройствами, работающими в стационарном режиме, и устройствами, работающими в нестационарном режиме, занимают устройства с псевдооживленным слоем каталитического наполнителя. В работе [7] описывается каталитический генератор тепла с кипящим слоем со встроенными теплообменными устройствами. Использование псевдооживленного слоя позволяет организовать перемешивание каталитического наполнителя, но интенсивность этого перемешивания низкая. При увеличении слоя катализатора кипящим оказывается только верхняя часть слоя. Также в псевдооживленном слое возможно образование каналов, через которые может проходить значительное количество сжигаемой смеси, практически не взаимодействуя с наполнителем.

Таким образом, существующие в настоящее время конструкции каталитических систем имеют свои недостатки, связанные в первую очередь с недостаточно интенсивным использованием дорогостоящего каталитического наполнителя.

Цель работы – совершенствование каталитических систем сжигания углеводородов и обоснование новых технических решений, способствующих интенсификации процессов каталитического окисления углеводородов.

Решаемые задачи: 1) обзор существующих устройств каталитического сжигания углеводородов; 2) анализ преимуществ и недостатков существующих технических решений для организации процесса каталитического окисления; 3) разработка и обоснование новых технических решений, позволяющих повысить эффективность каталитического сжигания.

Техническое моделирование и анализ результатов. В результате сравнения выявлены основные недостатки существующих каталитических систем и для их исключения разработаны конструкции новых каталитических систем, предназначенных для прикладного использования, с более интенсивным взаимодействием наполнителя и сжигаемой смеси.

Для исключения недостатков систем с псевдооживленным слоем и организации более интенсивного перемешивания наполнителя разработано каталитическое устройство сжигания с циркулирующим слоем катализатора, представленное на рис. 1. В устройстве сжигаемая смесь подается снизу. Проходя через сетчатый отделитель нижней направляющей, сжигаемая смесь уносит с собой каталитический наполнитель. По мере движения по устройству происходит окисление органических составляющих и выделение теплоты. Затем поток прореагировавшей смеси газов уходит через сетчатый отделитель верхней направляющей, а каталитический наполнитель отбрасывается сетчатым отделителем. Верхняя направляющая отводит наполнитель к периферии устройства. Под действием силы тяжести наполнитель падает на нижнюю направляющую, по которой он подводится к потоку сжигаемой смеси.

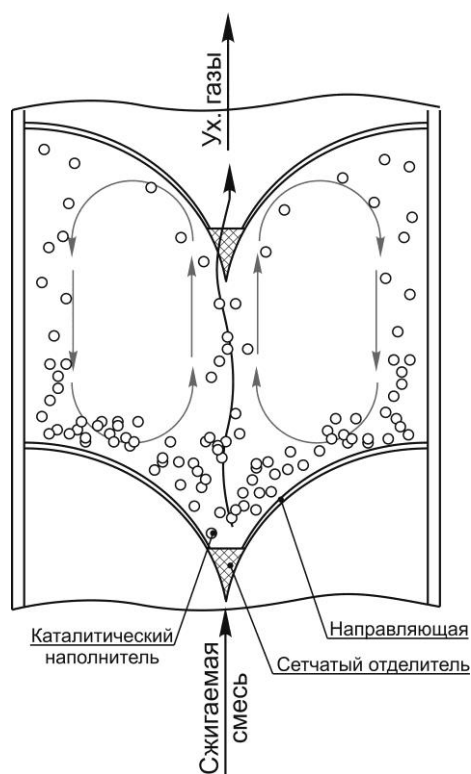


Рис. 1. Техническое решение каталитического устройства сжигания с циркулирующим слоем наполнителя

Ввиду интенсивного перемешивания наполнителя в устройстве сжигания поддерживаются стабильные температурные условия, а прогретый в потоке сжигаемой смеси наполнитель возвращается к поступающему на вход устройства холодному потоку сжигаемой смеси. В результате каталитический наполнитель в рамках устройства находится при рабочей температуре, что повышает эффективность использования катализатора и степень конверсии.

Можно создать один типовой элемент каталитического устройства сжигания с циркулирующим слоем наполнителя, на базе которого путем последовательного или параллельного соединения можно собирать устройства требуемых параметров.

Чтобы увеличить время взаимодействия потока сжигаемой смеси с каталитическим наполнителем, можно организовать совместное их перемещение по каталитиче-

скому устройству сжигания, аналогично системам пневматического транспорта [10]. В связи с этим можно создать каталитическое устройство сжигания с сонаправленным движением наполнителя и сжигаемой смеси (рис. 2а). При таком способе взаимодействия сжигаемая смесь подается снизу устройства сжигания, потоком смеси увлекается каталитический наполнитель, и они совместно двигаются в процессе протекания реакции. В верхней точке каталитического устройства происходит отделение наполнителя и удаление уходящих газов. Затем наполнитель возвращается в начало устройства сжигания. При таком способе организации процесса окисления увеличивается время взаимодействия сжигаемой смеси с каталитическим наполнителем ввиду их совместного движения по устройству сжигания. А возврат прогретого наполнителя в начало устройства позволяет поддерживать стабильные температурные условия.

Также возможно создание каталитического устройства сжигания с противоположным движением наполнителя и сжигаемой смеси (рис. 2б). При таком способе взаимодействия сжигаемая смесь подается снизу устройства, а каталитический наполнитель – сверху. Под действием силы тяжести каталитический наполнитель перемещается по устройству сверху вниз навстречу восходящему потоку сжигаемой смеси. В верхней точке каталитического устройства происходит удаление уходящих газов, а в нижней – отделение наполнителя. Затем наполнитель возвращается в верхнюю часть устройства. При таком способе организации процесса окисления увеличивается площадь взаимодействия сжигаемой смеси с каталитическим наполнителем, так как смесь в процессе движения взаимодействует с большим количеством наполнителя. А противоположное движение сжигаемой смеси и каталитического наполнителя позволяет поддерживать равномерные температурные условия во всем устройстве.

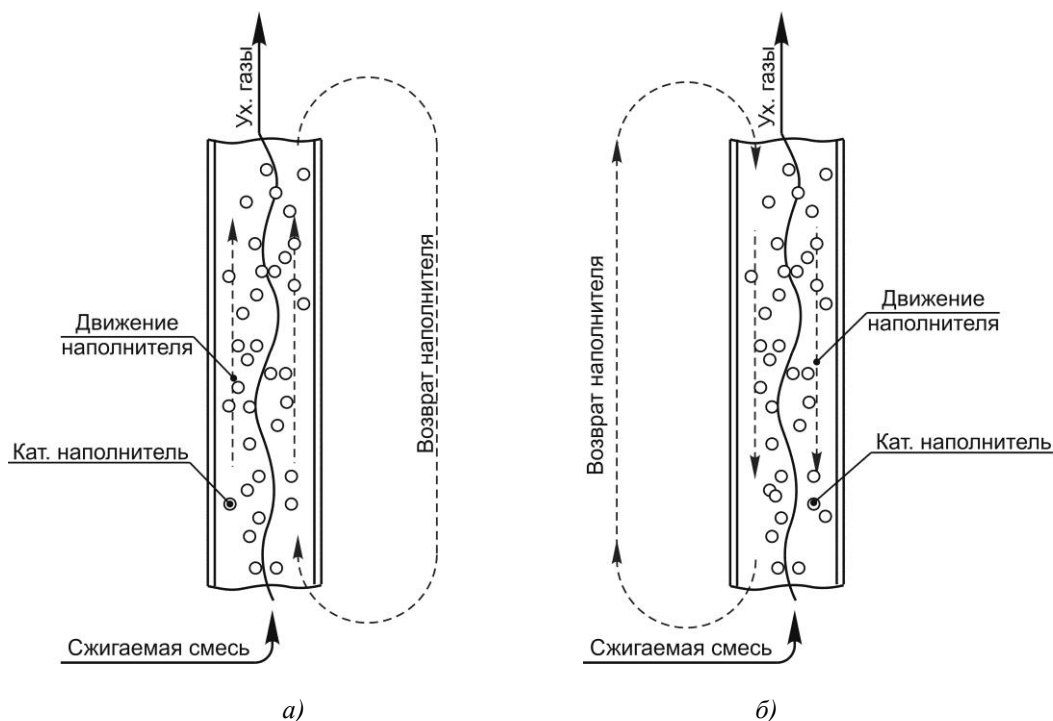


Рис. 2. Каталитические устройства сжигания с сонаправленным (а) и противоположным (б) движением наполнителя и сжигаемой смеси

Выводы. Использование каталитических систем – сложная техническая задача, в рамках которой важно применять специальную конструкцию каталитической системы в конкретной прикладной области. Существующие в настоящее время конструкции каталитических систем имеют свои недостатки, связанные в первую очередь с недостаточно интенсивным использованием дорогостоящего каталитического наполнителя. Разработанные технические решения каталитических устройств позволят интенсифицировать процесс окисления и обеспечить равномерные и стабильные условия протекания реакции, благодаря чему их можно эффективно использовать в различных прикладных областях.

Список литературы

1. Экологически чистое окисление углеводородных газов в каталитических нагревательных элементах / Лукьянов Б. Н. и [др.] // Химия в интересах устойчивого развития. 2001. № 9. С. 667–677.
2. The development of novel metal-based combustion catalysts / Van Giezen J.C., Intven M., Meijer M. D. et al. // Catal. Today. 1999. No 47. P. 191-197.
3. Zhi-yong P., Chao-yang D., Shi-kong S. A novel two-stage process for catalytic oxidation of methane to synthesis gas // Ranliao Huaxue Xuebao. 2000. No 4. P. 348.
4. Theophilos P., Xenophon V. Development of a novel heat-integrated wall reactor for the partial oxidation of methane to synthesis gas // Catal. Today. 1998. No 46. P. 71-81.
5. Носков А. С. Каталитическая очистка газов от органических примесей и оксидов азота в режиме движущейся тепловой волны // Физика горения и взрывов. 1997. Т. 33, № 3. С. 49-60.
6. Matros Yu.Sh., Noskov A.S., Chumachenko V.A. Progress in reverse-process application to catalytic incineration problems // Chem. Eng. Sci. 1993. No 32. P. 89-98.
7. Ismagilov Z. R., Kerzhentsev M. A. Fluidized bed catalytic combustion // Catal. Today. 1999. No 47. P. 339-346.
8. Медяков А.А., Каменских А.Д. Разработка новых каталитических систем для процессов получения биогаза // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 3. С. 88-94.
9. Повышение эффективности разрабатываемых каталитических систем для утилизации биогаза / Онучин Е.М. и [др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 78. С. 528-541.
10. Зарницына Э.Г., Терехова О.Н. Вентиляционные установки и пневмотранспорт. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. 228 с.

IMPROVEMENT OF CATALYTIC COMBUSTION SYSTEMS OF HYDROCARBONS

Medyakov Andrey Andreevich, Kamenskih Aleksandr Dmitrievich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

A comparison of the various options catalytic devices developed to date, identified the main disadvantages of the existing catalytic systems and for their exclusion were developed design of catalytic systems for the combustion of hydrocarbons, intended for application use, more intensive interaction with the filler and burned mixture. Using technical solutions developed catalytic devices allows to intensify the process of oxidation, as well as provide a stable and uniform reaction conditions that can effectively use them in applied fields.

Keywords: catalytic filler, circulating bed, catalytic combustion device, catalytic systems, nonstationary mode

УДК 631.3

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ МАШИНА

Муртазин Рустам Шамильевич, Галеев Султан Хафизьянович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
MurtazinRS@volgatech.net

Предложена конструкция универсальной почвообрабатывающей машины, предназначенной для разуплотнения почвы.

Ключевые слова: надёжность, минерализация, почвообрабатывающая машина, предохранительное устройство, разуплотнение почв

Введение. При выполнении операций по минерализации полос вокруг полевых и лесных угодий возникает необходимость устранения последствий отрицательного воздействия на почву ходовых систем из-за переездов транспортных машин при перевозке урожая от зерноуборочных, кормоуборочных и других комплексов. Существующие машины для обработки почвы не позволяют выполнить качественное разуплотнение поверхностного слоя [6]. Вследствие этого часто возникают поломки рабочих органов и машин в целом из-за воздействия чрезмерных нагрузок [1].

Цель работы: 1) создание машины, позволяющей выполнить разуплотнение нижележащих слоев почвенного горизонта; 2) выполнение конструктивного варианта, позволяющего использовать данную машину на других почвообрабатывающих операциях, а также на прокладке противопожарных минерализованных полос, предотвращающих низовые пожары.

Решаемые задачи: 1) исследование влияния почвенно-климатических условий на разуплотнение почв; 2) исследование типов и параметров рабочих органов для эффективной минерализации; 3) выбор типа предохранительного устройства и расчеты его кинематических параметров с целью повышения ресурса рабочих органов, работающих на почвах, засоренных камнями и растительными остатками; 4) разработка конструкции универсальной почвообрабатывающей машины.

Техническое моделирование. Из анализа информации по рассматриваемому вопросу следует, что конструктивный вариант, позволяющий использовать данную машину на выполнении других видов почвообрабатывающих операций, содержит сочетания рабочих органов, выполняющих глубокорыхлительную и поверхностную обработку слоя. Использование специального наконечника глубокорыхлителя позволяет обеспечить вынос влажной почвы из нижележащих слоев на высоту его геометрического размера в вертикальном направлении до границы с поверхностным слоем, обрабатываемым дополнительными дисковыми рабочими органами. Кинематическая схема разрабатываемой машины приведена на рис. 1. Рама 1 изготовлена из специальных профилей, обеспечивающих необходимую жесткость конструкции [2]. Для возможности выполнения широкого спектра операций по почвообработке в машине могут быть установлены различные типы рабочих органов. В предлагаемом конструктивном варианте универсальной почвообрабатывающей машины в качестве основных использованы чизельные рабочие органы 2 со специальными предохранительными устройствами, позволяющими преодолевать твердые участки поверхности, а также препятствия в виде камней или твердых включений [4]. Вслед за чизельными рабочими орга-

нами в работу вступают рабочие органы 3, предназначенные для обработки поверхностного слоя. Опорно-копирующее устройство 4 предназначено для обеспечения возможности установки необходимой глубины хода рабочих органов.

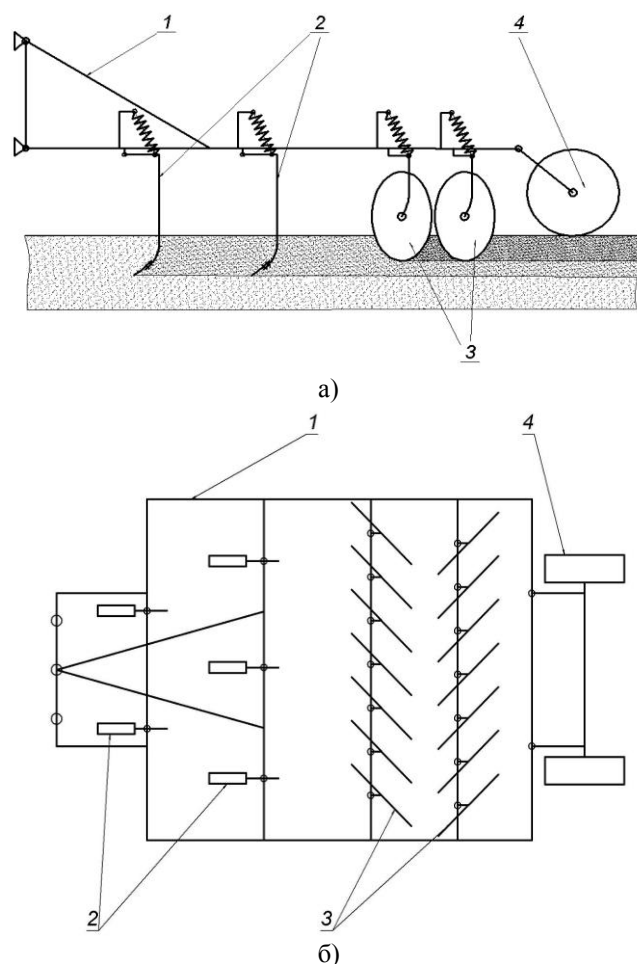


Рис. 1. Кинематическая схема универсальной машины:
 а) схема расположения рабочих органов в продольно-вертикальной плоскости;
 б) вид сверху: 1 – рама; 2 – чизельные рабочие органы; 3 – дисковые рабочие органы;
 4 – опорно-копирующее устройство

Чизельные рабочие органы, состоящие из стоек серповидной формы, закрепляются на основной раме таким образом, что кронштейны выполнены с переставными отверстиями для обеспечения необходимой глубины хода по отношению к обрабатываемой поверхности. Рабочие органы оснащены предохранительными устройствами для предотвращения поломок при преодолении неровностей (препятствий) [1]. Усилие срабатывания предохранительных механизмов определено расчетным путем с учетом результатов экспериментальных исследований в этой области. Для глубокорыхлителей порог срабатывания составляет 650-680 кг, а для дисковых рабочих органов – 120-150 кг. Приведенные значения усилий являются предельными при обработке почвенных слоев для установленных режимов [5].

Техника эксперимента. По результатам проведенных исследований была составлена схема воздействия рабочих органов предлагаемой машины на обрабатываемый слой (рис. 2).

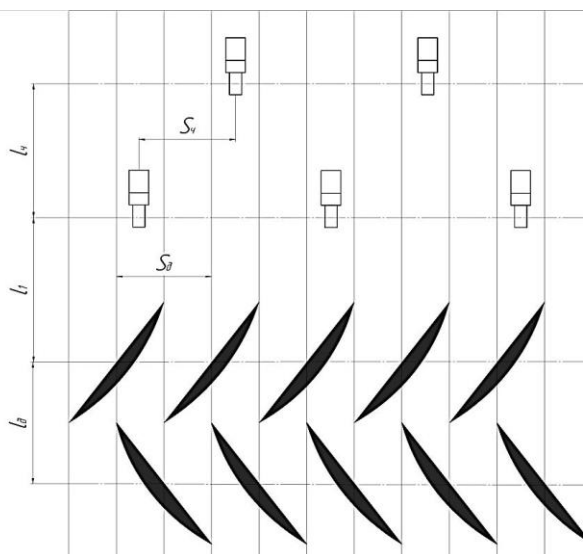


Рис. 2. Схема воздействия рабочих органов машины на обрабатываемый слой: S_0 – расстояние между соседними дисками в одном ряду, S_1 – расстояние между дисками чизелей, l_0 – расстояние между передними и задними дисками, l_1 – расстояние между передними и задними чизелями, l_2 – расстояние между рядом чизелей и дисков.

Схема образования кинематических волн дна борозды показана на рис. 3.

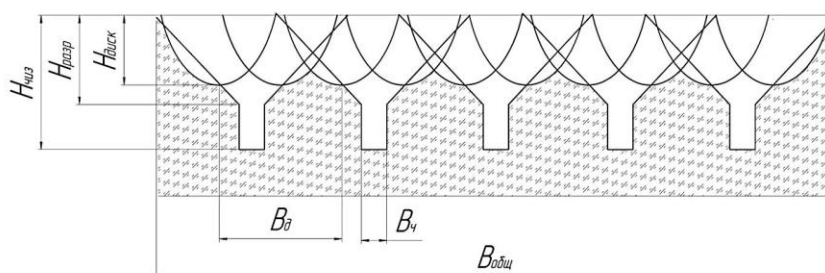


Рис. 3. Схема образования кинематических волн дна борозды: B_0 – ширина захвата дисковых рабочих органов, B_1 – ширина захвата чизельных рабочих органов, $B_{\text{общ}}$ – общая ширина захвата почвообрабатывающей машины, $H_{\text{чиз}}$ – основная глубина обработки чизельными рабочими органами, $H_{\text{разр}}$ – глубина зоны деформации почвы с боковых сторон чизелей, $H_{\text{диск}}$ – глубина обработки дисковыми рабочими органами

При работе рабочих органов происходит огибание встречающихся неровностей, расположенных случайным образом по ширине захвата вдоль обрабатываемой полосы. Минерализация поверхностного слоя может иметь решающее значение на качество при использовании машины на специальных видах обработки, например, при создании противопожарных полос по внешнему контуру полевых поверхностей [7]. Степенью минерализации является отношение объемной доли минеральных частиц в обработанном поверхностном слое к общему объему слоя.

В ходе проведения эксперимента выполнено моделирование процесса взаимодействия рабочих органов универсальной почвообрабатывающей машины с почвой в специализированном программном комплексе. При этом были определены границы рабочей области, представляющие собой объемную форму, зависящую от зон деформации почвы рассматриваемыми типами рабочих органов [3]. После определения границ

расчетной области установлены начальные условия в виде значений скорости движения рабочего органа, значения плотности и вязкости обрабатываемой среды.

Интерпретация результатов. Результаты проведенных исследований позволяют заключить, что при преодолении чрезмерно высоких препятствий на опорно-копирующее устройство необходима установка ограничительных рычагов, позволяющих огибать высокие неровности.

Обоснованы условия использования методов подобию и размерностей применительно к технологическим процессам обработки почвы. Сопротивление деформации, крошению и энергоемкость процесса обработки почвы рабочими органами почвообрабатывающих машин в значительной степени определяются явлениями, протекающими при движении пласта, вырезанного из массива, по поверхности рабочего органа.

Задача экспериментальных исследований состояла в получении исходных данных для установления зависимостей тягового сопротивления рабочих органов почвообрабатывающей машины, срабатывания предохранительных устройств при преодолении препятствий и качества минерализации противопожарных полос от глубины обработки, скорости движения и технологических параметров рабочих органов.

В качестве критериев оптимизации в соответствии с программой экспериментальных исследований были выбраны следующие показатели: глубина обработки почвы; степень минерализации; ширина полос; крошение почвы обработанного слоя почвы; подрезание сорных растений и пожнивных остатков; заделка травяной растительности, лесной подстилки; вынос влажных слоев почвы на поверхность. На указанные критерии оптимизации влияют ширина долота, угол установки долота, высота стойки чизеля, форма стойки чизеля, расстояние между чизелями в ряду и между рядами, диаметр диска, расстояние между дисками, угол установки диска относительно движения агрегата (угол атаки), угол установки диска относительно вертикальной оси.

Выводы

1. Применение чизельных рабочих органов в конструкции машины дает следующие преимущества по сравнению с традиционными рабочими органами с отвальными поверхностями: а) удельное тяговое сопротивление чизеля снижается на 30-35%; б) экономия горючего составляет примерно 15%.

2. Использование дисков обеспечивает лучшее заземление и интенсивное измельчение почвенно-растительной массы без забивания, а также высокую надежность заделки растительной массы.

3. Конструктивное исполнение крепежных элементов позволяет осуществлять огибание препятствий, встречающихся на пути прохождения машины, что увеличивает надежность.

4. На агропромышленных предприятиях данная машина может использоваться для выполнения почвообрабатывающих операций в течение всего сезона весенне-полевых работ, подготовки почвы под озимые культуры, ухода за парами и проведения работ по зяблевой подготовке. На обработанной ширине захвата остается сплошная минерализованная полоса.

5. Новизна конструкции предлагаемой машины состоит в том, что порядок вступления в работу рабочих органов и размещение их на раме машины выполнены с учетом особенностей протекания процессов при обработке почвы. При этом учтены условия их работы в уплотненной почвенной среде. Универсальность машины обеспечивается также использованием в державках рабочих органов специальных предохранительных устройств.

Список литературы

1. Соколов А.И., Харитонов В.А., Кривенко Т.И. Механизация обработки почвы на нераскорчеванных вырубках в условиях Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008.
2. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1977.
3. Бабкин А.В., Селиванов В.В. Прикладная механика сплошных сред: в 3 т. М.: МГТУ, 1998. Т.1. 367 с.
4. Посметьев В.И. Обоснование перспективных конструкций предохранителей для рабочих органов лесных почвообрабатывающих орудий. Воронеж: ВГЛТА, 2000.
5. Галеев С.Х., Кораблев А.Г. Исследование влияния геометрических параметров машины на показатели механизма навески // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Технологическая / [отв. и науч. ред. В. А. Иванов]. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. Ч. 2. С. 151-156.
6. Андреева Е.В. Технологии и техника для глубокого рыхления переуплотненных почв // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. 2006. № 1. С. 207.
7. Нечаева И.С., Бабич Н.А. Репродуктивные свойства сорных растений лесных питомников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2010. № 2. С. 57-67.

UNIVERSAL TILLAGE MACHINE

Murtazin Rustam Shamilevich, Galeev Sultan Hafizyanovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The construction a universal tillage machine designed to loosening the soil with improved reliability

Keywords: *reliability, mineralization, tillage machine, safety device, decompression soil, soil loosening*

УДК 620.952

**РАЗРАБОТКА СХЕМНО-КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ
ДВИГАТЕЛЯ ВНЕШНЕГО СГОРАНИЯ С УСТРОЙСТВОМ
ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ, ПОДАЧИ И СЖИГАНИЯ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА**

Онучин Евгений Михайлович, Анисимов Павел Николаевич

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
OnuchinEM@volgatech.net

Предлагается схема функционирования двигателя внешнего сгорания с устройством для приготовления, подачи и сжигания древесного топлива; выбраны оптимальные варианты конструктивного исполнения элементов разрабатываемого устройства. Использование разрабатываемого двигателя в лесной промышленности позволит снизить себестоимость продукции и повысит энергоавтономность производства.

Ключевые слова: *двигатель внешнего сгорания, топливная щепка, лесные машины, автономное энергоснабжение*

Введение. Заготовка энергетической биомассы является энергоемким процессом. Основным источником энергетической биомассы в России является древесина. Основной объем древесной биомассы энергетического назначения используется в виде

топливной щепы. В связи с этим актуальным является совершенствование технологий и технических средств для её заготовки и переработки. Один из способов повышения эффективности производства топливной щепы – снижение топливной составляющей в себестоимости продукции. В настоящее время топливная составляющая в себестоимости продукции лесной промышленности достигает 40-45%. Причина таких высоких затрат на топливо не только в высокой энергоемкости технологических процессов, но и также в высокой стоимости самого топлива и затратах на его транспортировку.

В настоящее время энергообеспечение лесной промышленности в основном осуществляется за счёт сжигания ископаемого топлива. Даже при производстве биотоплива, например щепы или пеллет, применяются силовые установки и энергетические модули, использующие в качестве источника энергии ископаемые топлива: бензин, дизельное топливо, природный газ. При этом количество древесных отходов производства достигает 30-60%, из которых более половины может использоваться в качестве топлива. Переход на полное или частичное автономное энергоснабжение от местных возобновляемых источников энергии и максимальное использование отходов, безусловно, положительно скажется и на себестоимости продукции и расширит географию таких производств [1].

Решению этой проблемы способствует разрабатываемый двигатель внешнего сгорания с устройством для приготовления, подачи и сжигания древесного топлива. В настоящее время существующие альтернативные варианты двигателей на биотопливе не обладают достаточным техническим совершенством и не адаптированы для лесной промышленности. Двигатели внутреннего сгорания, работающие на газифицированной биомассе, материалоемки, неудобны из-за долгого запуска и очень чувствительны к качеству топлива. Двигатели Стирлинга, использующие теплоту сжигания щепы, перспективны, но находятся в состоянии разработок и опытного внедрения и на рынке практически отсутствуют. Существующие разработки таких двигателей в основном предназначены для использования в стационарных условиях, в то время как современные мировые тенденции в области технических систем для заготовки энергетической биомассы сводятся к более широкому распространению и развитию мобильных многооперационных технологических линий [2]. Такие установки, как правило, размещаются на самоходном гусеничном или колесном шасси специальной лесозаготовительной машины либо на шасси прицепа трактора или грузового автомобиля. В частности, с целью повышения эффективности производства топливной щепы на лесосеке была предложена мобильная технологическая линия с энергообеспечением на базе двигателя внешнего сгорания [3]. Преимуществами предлагаемой компоновки оборудования являются осуществление подсушки производимой топливной щепы непосредственно на лесосеке, что повышает удельную теплотворную способность биомассы и снижает удельные расходы на транспортировку; а также использование в качестве силового агрегата двигателя внешнего сгорания, позволяющего использовать в качестве топлива часть заготавливаемой биомассы.

Таким образом, выявлена необходимость проработки схемно-конструктивных решений элементов двигателя внешнего сгорания, работающего на древесном топливе как в стационарных условиях, так и в составе энергетического модуля лесных машин и способного обеспечить автономное энергоснабжение процессов заготовки и переработки древесины энергетического назначения.

Цель работы – разработать схемно-конструктивные решения элементов двигателя внешнего сгорания с устройством для приготовления, подачи и сжигания древесного топлива, обеспечивающим комплексное использование вторичной тепловой энергии.

Решаемые задачи: 1) разработать общую схему функционирования двигателя внешнего сгорания с устройством для приготовления, подачи и сжигания древесного топлива; 2) выбрать наиболее подходящий вариант исполнения самого двигателя внешнего сгорания из разработанных к настоящему времени; 3) на основе анализа существующих технических решений определить наиболее оптимальные варианты конструктивного исполнения элементов разрабатываемого устройства для приготовления, подачи и сжигания древесного топлива для двигателя внешнего сгорания.

Предлагаемые схемно-конструктивные решения. Предлагается двигатель внешнего сгорания, имеющий адаптированную систему приготовления и подачи топлива, использующий в качестве топлива щепу.

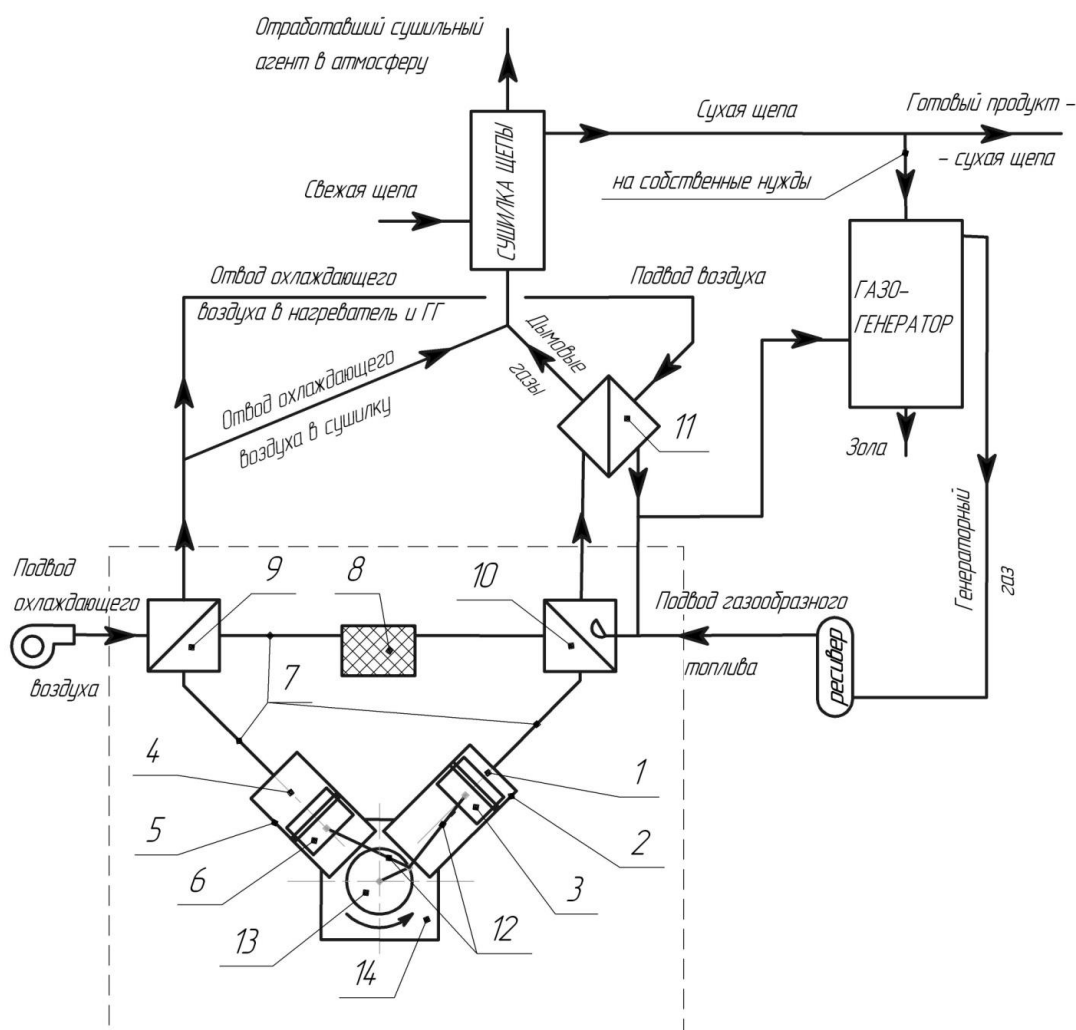


Рис. 1. Общая схема функционирования двигателя внешнего сгорания с устройством для приготовления, подачи и сжигания древесного топлива:

1 – полость расширения, 2 – горячий цилиндр, 3 – рабочий поршень, 4 – полость вытеснения, 5 – холодный цилиндр, 6 – вытеснительный поршень, 7 – газовая магистраль рабочего тела двигателя, 8 – регенератор, 9 – холодильник, 10 – нагреватель, 11 – рекуператор, 12 – шатуны, 13 – коленчатый вал, 14 – картер

Разрабатываемый двигатель внешнего сгорания на древесном топливе представляет собой совокупность оборудования для подготовки и преобразования биомассы и оборудования для преобразования энергии, в том числе сушильную камеру, газогене-

ратор, ресивер, двигатель Стирлинга, также рекуперативные и регенеративные теплообменники. Общая схема функционирования двигателя внешнего сгорания с устройством для приготовления, подачи и сжигания древесного топлива изображена на рис. 1. Основное оборудование будет скомпоновано на основе принципов модульности, адаптивности [4] и экономии энергетических ресурсов, в рамках которых особое внимание будет уделяться использованию вторичной и низкопотенциальной теплоты сопрягаемыми устройствами, а также аккумулялированию энергии с целью сглаживания неравномерности нагрузки.

Двигатель на древесном топливе работает следующим образом: свежая биомасса (щепа), имеющая высокую начальную влажность, загружается в сушилку, в которой за счет теплоты уходящих газов после камеры сгорания нагревателя двигателя Стирлинга она подсушивается. Часть подсушенной щепы направляется на отгрузку и является готовым продуктом. Другая часть подсушенной щепы потребляется на собственные нужды энергетической установки. Подсушенная биомасса загружается в газогенератор обращенного типа, где под воздействием температуры при частичном окислении происходит её газификация с образованием зольного остатка. Часть полученного в газогенераторе топливного газа, пройдя через ресивер, поступает в горячем состоянии в камеру сжигания двигателя Стирлинга. При изменении нагрузки на валу двигателя Стирлинга ёмкость ресивера играет роль дополнительного аккумулятора топливного газа, который нивелирует скачки в его потреблении. Благодаря отсутствию охлаждения генераторного газа перед подачей в нагреватель двигателя происходит более полное его сжигание и использование тепловой энергии.

Дымовые газы после сгорания в топливного газа в нагревателе двигателя Стирлинга через рекуператор направляются в сушилку щепы. В рекуператоре дымовые газы частично охлаждаются, подогревая воздух, используемый в качестве окислителя в газогенераторе и в нагревателе двигателя. Перед поступлением в сушилку щепы дымовые газы смешиваются с тёплым воздухом системы охлаждения двигателя. Охлаждение холодильника двигателя Стирлинга осуществляется посредством нагнетаемого вентилятором атмосферного воздуха. Основная часть нагретого в холодильнике двигателя охлаждающего воздуха смешивается с дымовыми газами и направляется в сушилку щепы. Отработанный сушильный агент – смесь атмосферного воздуха, дымовых газов и водяного пара – после сушилки отводится в атмосферу. Воздух, направляемый на окисление топлива, забирается из газовой магистрали отводящей воздух системы охлаждения двигателя.

Двигатель служит для производства механической энергии и является модификацией двигателя Стирлинга альфа-типа с V-образным расположением вытеснительного и рабочего поршней. На рис. 1 элементы двигателя Стирлинга обозначены цифрами. Выбор такого варианта конструктивного исполнения двигателя внешнего сгорания из существующих в настоящее время модификаций обусловлен прежде всего простотой конструктивного исполнения и обслуживания в процессе эксплуатации. Это связано с возможной взаимозаменяемостью некоторых деталей, таких как шатуны, коленчатый вал, картер и т.д., с деталями поршневых двигателей внутреннего сгорания, а также поршневых компрессоров.

Разрабатываемое техническое решение перед существующими аналогами – двигателями на топливе из древесины – имеет следующие преимущества:

- автономность до 100%. Двигатель способен работать на одной древесине, без подмешивания другого топлива;
- полезное использование вторичной тепловой энергии, которая используется для сушки щепы, что повышает общий эффективный КПД установки. Осуществляется

рекуперация тепловой энергии всех потоков теплоносителя, удаляемого в окружающую среду;

- возможность сжигания топливного газа в горячем состоянии в нагревателе двигателя Стирлинга сразу после газогенератора без предварительного охлаждения, что существенно уменьшает потери;

- аккумулирование топливного газа в ресивере, что обеспечивает быстрый запуск двигателя, а также гибкое регулирование мощности благодаря прямому регулированию подачи топлива;

- возможность применения чистого каталитического сжигания, которое позволяет использовать не только рекуперативные и регенеративные теплообменники для нагрева теплоносителя, но и также смесительные теплообменники, которые априори имеют большую энергетическую эффективность;

- экологичность, чистое сжигание – отсутствие вредных примесей в дымовых газах, по сравнению с выхлопными газами двигателя внутреннего сгорания, за счёт отсутствия детонационных процессов;

- сниженная металлоемкость по сравнению с газогенераторным двигателем внутреннего сгорания, который нуждается в системе глубокой очистки и охлаждения генераторного газа.

В результате анализа технических средств для сушки щепы [5-7] был сделан вывод о целесообразности применения в разрабатываемом устройстве следующих типов сушилок: аэрофонтанной и вихревой. Например, отмечается, что хорошие результаты получены при сушке древесной щепы в вихревой сушилке системы «Конвекс» [6]. К преимуществам вихревых сушилок можно отнести компактность, простоту конструкции, отсутствие движущихся элементов конструкции. Вихревые сушилки более компактны по сравнению с циклонными, характеризуются лучшей сепарирующей и большей удерживающей способностью. Сепарационное действие центробежного поля способствует более длительному нахождению крупных частиц в зоне сушки, что обеспечивает равномерное остаточное влагосодержание материала. Различие между временем пребывания крупных и мелких частиц дает возможность использовать вихревые камеры для однородной сушки полидисперсных материалов [6]. Таким образом, вихревые и аэрофонтанные сушилки щепы обладают такими важными преимуществами, как компактность и простота устройства, особенно важными при использовании их в составе нестационарной двигательной установки.

В результате анализа технических средств для газификации щепы и последних исследований в этой области [8-10] был выбран газификатор с обращенным процессом газификации. Газифицирование топлива по обратному процессу является наиболее распространенной схемой газификации и позволяет получать более чистый топливный газ, который можно сжигать в нагревателе двигателя Стирлинга в горячем состоянии.

Двигатель внешнего сгорания предполагает возможность сжигания древесного топлива непосредственно в виде щепы, однако предварительная газификация имеет множество преимуществ, особенно в случае нестационарных двигательных установок. Так, предварительная газификация древесного топлива позволяет осуществлять динамическое регулирование мощности двигателя за счёт количества сжигаемого топлива; газогенератор выполняет роль аккумулятора энергии; устройство сжигания топливного газа имеет более компактные размеры, что положительно сказывается на эффективности нагревателя двигателя Стирлинга; возможно применение чистого каталитического сжигания газообразного топлива; устройство камеры сжигания газообразного

топлива более простое и надежное, нежели камеры сжигания твердого топлива, особенно для энергомодулей малой мощности.

Выводы

1. Разработана общая схема функционирования двигателя внешнего сгорания с устройством для приготовления, подачи и сжигания древесного топлива; выбран наиболее подходящий вариант исполнения самого двигателя внешнего сгорания в виде поршневого двигателя, работающего по циклу Стирлинга с V-образным расположением поршней. На основе анализа существующих технических решений определены наиболее оптимальные варианты конструктивного исполнения элементов разрабатываемого устройства, таких как газогенератор обращенного типа и сушилка щепы вихревого или аэрофонтанного типа.

2. Предлагаемый двигатель внешнего сгорания на древесном топливе для автономного энергоснабжения решает проблему эффективного автономного энергоснабжения на основе биотоплива, а также следующие задачи: повышение автономности энергетических модулей лесных машин и производственных объектов лесной промышленности до 100%, обеспечение механической энергией при использовании древесных отходов в качестве топлива, повышение экологичности двигателей, снижение материалоемкости двигателей на биотопливе.

3. Основное перспективное применение разрабатываемого двигателя – энергоснабжение лесных машин, технологических линий лесной и деревообрабатывающей промышленности, производств биотоплива (щепы, пеллет и т.д.). Использование двигателя позволит снизить себестоимость конечной продукции лесной промышленности. Кроме того, целесообразно использование двигателя в малой энергетике регионов России, богатых лесными ресурсами, например для энергоснабжения экологических поселений и родовых поместий. Разрабатываемый двигатель имеет преимущества по сравнению с другими двигателями на биотопливе.

Список литературы

1. Онучин Е.М. Территориальные агролесоводственные биоэнергетические комплексы как форма использования лесных угодий // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 2. С. 264-271.
2. Интернет-журнал «Лесопромышленник» [Электронный ресурс]. URL: http://www.lesopromyshlennik.ru/bioenergia/bio_4.html. (дата обращения: 03.04.2014).
3. Лесная машина для производства топливной щепы: пат. 136285 Российская Федерация, МПК7 A01G 23/00 / П.Н. Анисимов, Е.М. Онучин, А.А. Медяков; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «ПГТУ». № 2013120460/13; заявл. 30.04.2013; опубл. 10.01.2014, Бюл. №1. 5 с.: ил.
4. Онучин Е. М., Грязин В.А. Адаптивно-модульные технические средства для лесного комплекса // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 3. С. 3-10.
5. Ведерникова М.И. Проектирование сушильных установок для сушки измельченной древесины. Технологические и гидродинамические расчеты сушилок: руководство по курсовому и дипломному проектированию. Екатеринбург: УГЛТА, 2001. Ч.1. 40 с.
6. Муштаев В.И., Ульянов В.М. Сушка дисперсных материалов. М.: Химия, 1988. 352 с.
7. Сажин Б.С., Чувпило Е.А. Типовые сушилки со взвешенным слоем материала // Обзор. информ. Сер. ХМ-1. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1975. 72 с.
8. Anil K. Rajvanshi. Biomass gasification // Alternative Energy in Agriculture. 1986. Vol. II / ed. D. Yogi Goswam. CRC Press. P. 83-102.
9. Кузьмин С.Н., Ляшков В.И., Кузьмина Ю.С. Биоэнергетика: учебное пособие. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. 80 с.

10. Косов Д.В., Смоляков А.Ф. Генераторный газ из древесных отходов: возможности рационального использования физической теплоты // Современные проблемы и перспективы рационального лесопользования в условиях рынка: материалы конф. СПб., 2012. С. 93-98.

**DEVELOPMENT OF SCHEMATICS AND DESIGN SOLUTIONS OF ELEMENTS
OF EXTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH A DEVICE FOR PREPARING,
FILING, AND WOOD COMBUSTION**

Onuchin Eugene Mihaylovich, Anisimov Pavel Nikolaevich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The scheme of operation of the external combustion engine with the device for the combustion of wood is shown; the optimal variant of embodiment of elements of the developed device are chosen. Use of the developed engine in the forest industry will reduce production costs and increase the energy independence of the production.

Keywords: *external combustion engine, chip fuel, forest equipment, stand-alone power generation*

УДК 630*377.44

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРЕЛЮЕМОЙ ПАЧКИ
С УЧЕТОМ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ**

Рябинин Денис Евгеньевич, Шестаков Яков Иванович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
ryabininde@volgategh.net

Получены зависимости объема трелюемой пачки от природно-производственных условий. Нагружение зажимных устройств должно выполняться в зависимости от объема формируемой пачки лесоматериалов.

Ключевые слова: *объем пачки, трелевка, зажимное устройство*

Введение. В настоящее время лесное машиностроение РФ решает задачи, направленные на снижение материалоемкости производимых зажимных устройств для трелевки лесоматериалов с одновременным повышением долговечности и экологической совместимости с окружающей средой.

На лесозаготовительных предприятиях РФ эксплуатируется около 2 тыс. тракторов, предназначенных для бесчokerной трелевки лесоматериалов. Технологическое оборудование этих тракторов состоит из кониковых зажимных устройств, пачковых захватов. Эти зажимные устройства отличаются простотой эксплуатации, выгодно отличаются от оборудования для чокерной трелевки тем, что в процессе эксплуатации увеличивается производительность, снижаются повреждения, наносимые лесной среде при трелевке. Однако надежность зажимных захватов тракторов данного типа не полностью удовлетворяют требованиям эксплуатации в лесных условиях. При уплотнении трелюемой пачки в устройстве происходит снижение производительности машины, так как наблюдаются случаи потери отдельных хлыстов из-за уменьшения силы обжатия пачки рычагами. Существующие зажимные устройства не имеют возможности автоматически поджимать пачку лесоматериалов, что приводит к увеличению эксплуатационных затрат, связанных с повышенными нагрузками в отдельных элементах [1].

В этой связи наиболее перспективным направлением повышения качества зажимных устройств является снижение нагрузок на трелевочные устройства за счет адаптации к условиям функционирования и модульной компоновки. Благодаря данному технологическому оборудованию с системой автоматического поджатия повышается эффективность трелевки [2].

Цель работы – теоретические исследования геометрических характеристик предмета труда, количественно характеризующих их возмущающее воздействие на зажимные устройства при движении трелевочной машины по лесосеке.

Решаемые задачи: получение зависимостей объема трелеваемой пачки от природно-производственных факторов; исследование характеристик лесосеки; анализ показателей трелеваемой пачки в условиях Республики Марий Эл.

Аналитическое моделирование. На основе математической модели распределения деревьев на лесосеке представлена зависимость формируемой пачки в зажимных устройствах трелевочных машин от природно-производственных условий.

Интерпретация результатов. При проектировании новых трелевочных устройств для определения их эффективности в различных природно-производственных условиях необходимо задавать характеристики предмета труда и на основе этих данных определять оптимальные параметры привода данных устройств. Для расчета параметров зажимных устройств целесообразно принимать наибольшую из возможно собранных пачек. Данные по объему пачки, следовательно, и массе необходимы для оценки надежности удержания трелеваемой пачки в зажимных устройствах.

Методика расчетного определения геометрических размеров пачек хлыстов и деревьев основывается на выводах проф. С. Ф. Орлова о том, что дерево можно уподобить усеченному конусу. Геометрические и статистические характеристики пачки лесоматериалов могут быть определены на основе геометрических и статистических характеристик лесоматериалов, входящих в пачку [3].

Из характеристики лесосеки можно установить объем хлыста, высоту дерева и состав лесосеки. Характеристика хлыстов и деревьев только по среднему объему и высоте оказывается недостаточной при расчетах по расчетным схемам теории сопротивления материалов, так как для описания образующей хлыста дерева необходимо знать диаметры в верхней части d_v и нижней части d_k .

Различаясь по объему или высоте с хлыстом и деревом, ствол без сучьев имеет общее с ним – диаметры в нижней части d_k и на высоте груди $d_{1,3}$. Поэтому за основу для определения геометрических размеров взят ствол без сучьев, так как основные зависимости, применяемые в таксации леса, получены применительно к нему. К таксационным факторам относятся породный состав насаждения, ликвидный запас леса на лесосеке, средний объем хлыста. Диаметр $d_{1,3}$ ствола без сучьев и разницу в высоте и объемах между хлыстом, деревом и стволом можно установить по имеющимся в теории и практике таксации леса данным и зависимостям. При расчете нагрузки на трелевочную машину следует учитывать, что на коник приходится нагрузка в 0,5-0,62 от массы трелеваемой пачки деревьев или хлыстов.

Объем трелеваемой пачки зависит от площади поперечного сечения зажимного устройства, объема трелеваемых деревьев, который в свою очередь зависит от диаметра и длины дерева. При одном диаметре деревьев длина их, а следовательно, и объем деревьев в насаждениях различных разрядов высот значительно отличается. Ввиду этого колеблются в значительных пределах объемы пачек [4].

Определение объема пачки для обоснования параметров трелевочной машины по средней длине и диаметру дерева недопустимо, так как в любой пачке примерно 25% деревьев имеют длину и диаметр больше среднего, а по деревьям, находящимся в диа-

пазоне самых крупных, не представляется возможным, так как приводит к утяжелению машины, повышению ее стоимости, ухудшению проходимости и маневренности, а вероятность формирования такой пачки близка к нулю.

Для определения объема формируемых пачек в различных регионах и их вероятности была разработана имитационная модель в среде Microsoft Excel, позволяющая на основе фактического распределения диаметров деревьев на лесосеках имитировать диаметры деревьев, поступающих в трелевочное устройство. Исходя из этого определялись объемы, масса трелеваемой пачки деревьев

В зависимости от лесорастительных условий при одинаковой площади поперечного сечения трелевочного устройства масса и объемы трелеваемых пачек могут изменяться в значительных пределах. Например, для условий Республики Марий Эл при использовании на трелевке трелевочной машины ТБ-1М максимальный объем пачки без коры составляет $6,2 \text{ м}^3$ с вероятностью 2%, средний – $4,9 \text{ м}^3$.

Следовательно, обоснование параметров технологического оборудования трелевочной машины по максимально допустимой нагрузке недопустимо, так как это приводит к утяжелению машины, повышению ее стоимости, ухудшению проходимости и маневренности, повышению нагруженности отдельных элементов устройства, что в свою очередь ведет к повышению затрат на осуществление ремонта и технического обслуживания.

Выводы

1. Объем трелеваемой пачки деревьев оказывает непосредственное влияние на надежность удержания пачки в предложенном кониковом зажимном устройстве.

2. Объем трелеваемой пачки зависит от площади поперечного сечения зажимного устройства, объема трелеваемых деревьев, который в свою очередь зависит от диаметра и длины дерева.

3. В зависимости от лесорастительных условий при одинаковой площади поперечного сечения коника масса и объемы трелеваемых пачек могут изменяться в значительных пределах. Например, для условий Республики Марий Эл при использовании на трелевке трелевочной машины ТБ-1М максимальный объем пачки без коры составляет $6,2 \text{ м}^3$ с вероятностью 2%, средний – $4,9 \text{ м}^3$.

Список литературы

1. Александров В.А. Динамические нагрузки в лесосечных машинах. Л.: ЛТА, 1984. 152 с.
2. Пат. №2345913 СИМПКВ60Р7/12. Кониковое зажимное устройство / Шестаков Я.И., Рыбинин Д.Е., Грязин В.А. Заявитель и патентообладатель МарГТУ. Заявл. 13.06.2007; опубл. 10.02.2009, Бюл. № 4. 4 с.
3. Александров В.А., Шестаков. Я.И. Основы проектирования лесозаготовительных машин и оборудования: учеб. пособие. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. 235 с.
4. Ширнин Ю.А., Роженцова Н.И. Технологические параметры лесосек с границами, полученными на основе ГИС // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2008. № 1(2) С. 40–48.

RATIONALE FOR THE PARAMETERS SKID BUNDLE WITH REGARD FOREST CONDITIONS

Ryabinin Denis Evgenievich, Schestakov Yakov Ivanovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Obtained regression equations determining rope tension force element in the device for skidding.

Keyword: volume packs, skidding, arrangement for skidding

УДК 621.3.048.81

ДИАГНОСТИКА ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ ТОКА АБСОРБЦИИ

Соколова Валентина Николаевна, Соколов Антон Леонидович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
SokolovaVN@volgatech.net

Обоснована возможность диагностики изоляции электрооборудования с использованием параметров тока абсорбции. Использование параметров тока абсорбции позволяет получать качественно новую информацию для принятия решений.

Ключевые слова: электрооборудование, диагностика, изоляция, схема замещения, ток абсорбции, оценка параметров

Введение. Для снижения вероятности аварийного повреждения изоляции электрооборудования используются различные методы физического и химического анализа [1–4]. Экономические показатели работы электрической сети во многом зависят от состояния изоляции электрооборудования. Основным элементом электрооборудования, наиболее подверженного старению и определяющего его ресурс, является изоляция обмоток. При диагностике изоляции электрооборудования используются главным образом электрические методы, которые базируются на двух явлениях, возникающих в диэлектриках под действием слабых электрических полей: электропроводности и электрической поляризации.

Цель работы – исследование тока многослойной изоляции операторным методом.

Решаемые задачи: 1) исследование тока в момент включения диэлектрика под действием источника постоянного напряжения; 2) оценка диагностического параметра при изменении влажности изоляции.

Техническое моделирование. Для контроля изоляции электрооборудования необходимо использовать электрические методы с представлением реальной электро-технической изоляции как неоднородной. Известно, что в комбинированной изоляции, состоящей из нескольких диэлектриков с разными характеристиками, наблюдается специфическое явление накопления на границах диэлектриков зарядов, именуемых зарядами абсорбции [5]. Это явление связано с различием свойств отдельных слоев и называется миграционной поляризацией. При этом под действием электрического поля в ней происходят сложные процессы. Электропроводность технических диэлектриков и изоляционных конструкций носит, как правило, примесный характер, т.е. обусловлена движением свободных ионов, образующихся при диссоциации примесей и дефектами старения. В результате возникают:

- ток сквозной проходимости $i_{\text{пр}}$;
- ток абсорбции $i_{\text{а}}$;
- ток смещения $i_{\text{см}}$.

Ток сквозной проходимости $i_{\text{пр}}$ и ток абсорбции $i_{\text{а}}$ представляют собой смещение и поворот связанных дипольных молекул, которые замедляют поляризацию. Мгновенная поляризация – это упругое смещение и деформация электронных оболочек атомов и ионов, создающая ток смещения $i_{\text{см}}$.

Анализ показал, что чем больше в изоляции загрязняющих примесей, тем выше ее электропроводность, тем ниже электрическая прочность. При появлении некоторых

дефектов или в процессе старения отдельные диэлектрики по-разному изменяют свои характеристики. По этой причине величины, связанные с явлением миграционной поляризации, могут служить показателем состояния изоляции и использоваться в целях контроля и диагностики.

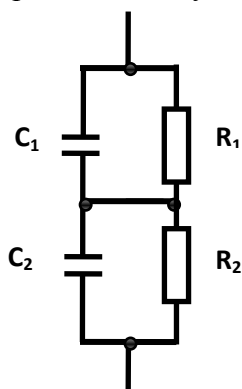


Рис. 1. Схема замещения двухслойной изоляции

В практике находит применение многослойная изоляция из нескольких диэлектриков. При этом схема замещения многослойной изоляции представляет собой несколько емкостных элементов, подключенных к источнику постоянной электро-движущей силы (ЭДС).

Для исследования была принята схема замещения двух-слойной изоляции (рис. 1), которая состоит из параллельно соединенных емкостей и активных сопротивлений слоев (R_1 , C_1 , R_2 , C_2).

Для схемы замещения двухслойной изоляции было найде-но входное операторное сопротивление цепи

$$Z(p) = \frac{R_1(1 + pC_2R_2) + R_2(1 + pC_1R_1)}{(1 + pC_1R_1)(1 + pC_2R_2)}.$$

Исходя из схемы замещения, получено операторное изображение искомого тока во внешней цепи при подключении источника напряжения:

$$I(p) = \frac{U(p)}{Z(p)} = \frac{U}{p} \cdot \frac{(1 + pC_1R_1)(1 + pC_2R_2)}{R_1(1 + pC_2R_2) + R_2(1 + pC_1R_1)}.$$

После преобразования был найден оригинал этого тока

$$i(t) = \frac{U}{R_1 + R_2} + \frac{U(R_1C_1 - R_2C_2)^2}{R_1R_2(R_1 + R_2)(C_1 + C_2)^2} \cdot e^{-\frac{R_1 + R_2}{R_1R_2(C_1 + C_2)}t}.$$

Вторая составляющая выражения для тока $i(t)$ является током абсорбции:

$$i_a(t) = \frac{U(R_1C_1 - R_2C_2)^2}{R_1R_2(R_1 + R_2)(C_1 + C_2)^2} \cdot e^{-\frac{R_1 + R_2}{R_1R_2(C_1 + C_2)}t}.$$

Анализ показал, что кривая аperiodической слагающей тока абсорбции $i_a(t)$ является экспоненциальной затухающей кривой, постоянная времени которой равна

$$T_a = \frac{R_1R_2(C_1 + C_2)}{R_1 + R_2}.$$

Более того, после полного затухания величина тока $i(t)$ во внешней цепи схемы замещения многослойной изоляции будет равна установившемуся значению тока, который представляет собой ток сквозной проводимости, зависящий от величины приложенного напряжения и активных сопротивлений многослойной изоляции:

$$I_\infty = \frac{U}{R_1 + R_2}.$$

Интересным являлся другой случай, когда одно из сопротивлений, например, $R_1 \rightarrow \infty$ и входное операторное сопротивление цепи

$$Z(p) = \frac{1 + pR_2(C_1 + C_2)}{pC_1(1 + pC_2R_2)}.$$

Операторное изображение тока во внешней цепи схемы замещения многослойной изоляции следующее:

$$I(p) = U \cdot C_1 \frac{1 + pR_2(C_1 + C_2)}{pC_1(1 + pC_2R_2)}.$$

Поскольку наивысшие степени числителя и знаменателя функции $I(p)$ равны, то переменная функция тока $i(t)$ будет содержать импульсную составляющую [6]. В этом случае наблюдается нарушение закона коммутации, устанавливающего непрерывность изменения напряжения на емкостных элементах. Скачкообразное смещение напряжений на емкостных элементах обусловлено появлением в них бесконечно больших импульсов тока.

В результате по формуле разложения с учетом импульсной составляющей получили

$$i(t) = A_\infty \cdot \delta(t) + \frac{A(p_1)}{B'(p_1)},$$

$$i(t) = \frac{U}{R_1 + R_2} \cdot \delta(t) + \frac{U(R_1C_1 - R_2C_2)^2}{R_1R_2(R_1 + R_2)(C_1 + C_2)^2} \cdot e^{-\frac{R_1 + R_2}{R_1R_2(C_1 + C_2)}t}.$$

Следовательно, кривая тока $i(t)$ получается при сложении двух составляющих тока в каждый момент времени с учетом их знака. Анализ показал, что в момент включения неоднородной изоляции при $t = 0$ под воздействием источника постоянного напряжения U возникает бесконечно большой импульс тока, который характеризуется первой составляющей выражения.

Техника эксперимента. В качестве платформы для математического моделирования и вычислительного эксперимента при изучении влияния состояния изоляции на величину тока $i(t)$ использовался лицензионный программный продукт Microsoft Excel. В результате выполненных расчетов были получены и обработаны ряды значений искомых параметров в Microsoft Excel (рис. 2).

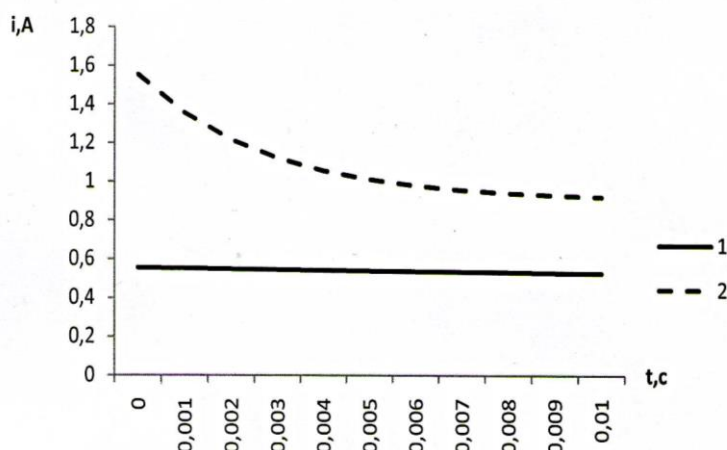


Рис. 2. Изменение во времени результирующего тока $i(t)$ в цепи неоднородной изоляции электрооборудования: 1 — сухая изоляция; 2 — влажная изоляция

В качестве примера были рассмотрены результаты расчета тока абсорбции при изменении влажности изоляции. При этом для каждого случая при изменении влажности изоляции рассчитывалась кривая тока $i_a(t)$ и исследовался процесс его затухания. В результате выполненных расчетов были получены и обработаны ряды значений исковых параметров в Microsoft Excel (рис. 3).

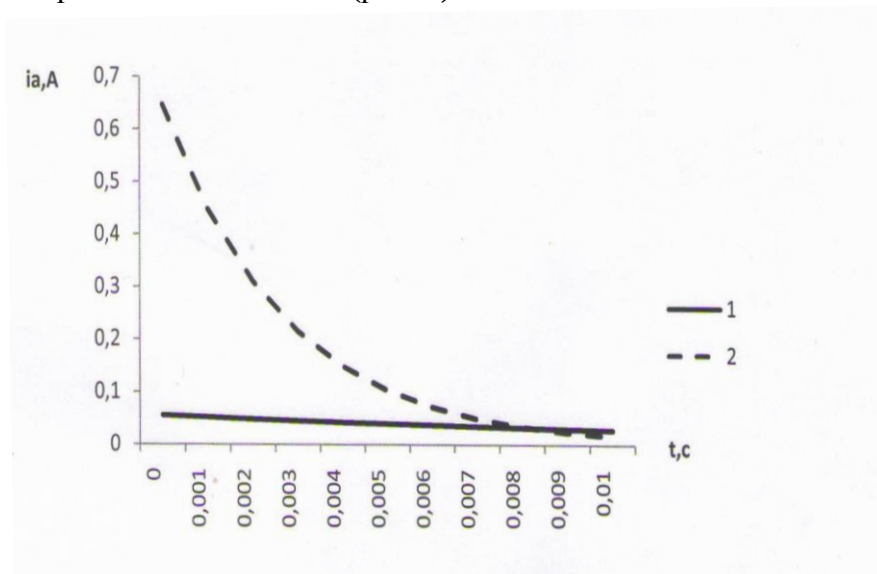


Рис. 3. Изменение во времени тока абсорбции в цепи неоднородной изоляции электрооборудования:
1 – сухая изоляция; 2 – влажная изоляция

Интерпретация результатов. Значительное увеличение влажности изоляции приводит к изменению характера кривой тока абсорбции. При этом меняется величина и постоянная времени затухания тока абсорбции: ток абсорбции у сухой изоляции уменьшается, а у влажной изоляции резко увеличивается. Анализ показал, что время затухания влажной изоляции значительно меньше, чем сухой изоляции. Следовательно, от качества изоляции зависят параметры тока абсорбции. Изменение параметров тока абсорбции можно принимать в качестве диагностического признака неисправностей изоляции (увлажнение, старение и др.).

Выводы

1. В рамках исследования создана методика анализа тока в цепи двухслойной изоляции операторным методом. Используя предложенную методику, можно исследовать ток во внешней цепи изоляции с любым числом слоев.
2. Установлено, что для диагностики многослойной изоляции электрооборудования можно использовать величину и характер изменения тока абсорбции. В качестве диагностического признака предложено использовать параметры тока абсорбции. При этом ток абсорбции у сухой изоляции резко затухает, а у влажной изоляции увеличивается и затухает значительно медленнее. Использование параметров тока абсорбции позволяет получать качественно новую информацию для принятия решений.

Список литературы

1. Глухов Д. О. Метод обнаружения повреждений изоляции с большими переходными сопротивлениями в высоковольтных сетях с изолированной нейтралью 6-20 кВ // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и информационные системы. 2010. № 1. С. 6-75.

2. Свидетельство № 2013620272 РФ. Свидетельство о государственной регистрации базы данных «Мультимедийное пособие по теме «Ревизия силового трансформатора» для студентов–энергетиков» / А. Л. Соколов, В. Н. Соколова; заявитель и правообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение ВПО «Поволжский гос. технол. ун-т». Заявка № 2012621455; заявл. 18. 12. 2012; зарегистр. 13. 02. 2013; опубл. «Электронный бюллетень «Программы для ЭВМ, базы данных, топологии интегральных микросхем». 2012. № 6.
3. Заявка на изобретение № 2012133225 РФ. МПК H02K 15/02. Способ диагностики и контроля замыканий листов активной стали сердечника электрических машин / Соколова В.Н., Соколов А.Л., Ильин М.В.; заявитель и патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение ВПО «Поволжский гос. технол. ун-т». Опубл. 10.02.14.
4. Сотников В. В. Распределение токов и взаимное влияние нагрузок в трансформаторах с расщепленной обмоткой // Энергетика. 2011. № 6. С. 43–49.
5. Техника высоких напряжений: учебник для студентов электротехнических и электро-энергетических специальностей вузов / под общ. ред. Д. В. Розевига. М.: Энергия, 1976. 488 с.
6. Цапенко Е. Ф., Семенова И.К. Анализ переходных процессов в линейных электрических цепях. М.: Московский горный институт, 1985. 67 с.

ELECTRICAL FAULT ISOLATION USING CURRENT ABSORPTION PARAMETERS

Sokolova Valentina Nicolaevna, Sokolov Anton Leonidovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola, Russia, Yoshkar-Ola

Offered the opportunity to diagnose electrical isolation using current parameters of absorption. Using the current parameters of absorption produces qualitatively new information for decision making.

Keywords: *electrical, diagnostics, insulation, replacement scheme, absorption current, estimation parameters*

УДК 621.311

ВЛИЯНИЕ РАБОТЫ БЫТОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИБОРОВ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Соколова Валентина Николаевна, Хлебников Валерий Алексеевич

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
SokolovaVN@volgatech.net

Обоснована возможность количественной оценки влияния бытовых электрических приемников на качество электроэнергии методом анализа Парето. Использование матрицы различных факторов проблемы с учетом влияния бытовых электроприемников позволяет получить качественно новую информацию для принятия решений по управлению качеством.

Ключевые слова: *бытовые электроприемники, качество электроэнергии, электромагнитная совместимость*

Введение. В связи с ростом цен на электроэнергию в настоящее время большое внимание уделяется электроснабжению коммунально-бытовых электрических приемников. Особенностью электроснабжения этих потребителей является увеличение количества и потребляемой мощности ранее не применявшихся электрических приемни-

ков (ванны джакузи, бассейны с подогревом воды, нагревательные и охлаждающие устройства и т.д.).

Взаимодействие между электрическими бытовыми приборами, аппаратами, электрооборудованием и электромагнитной средой и взаимодействие этих технических средств характеризуется электромагнитной совместимостью (ЭМС) [1, 8]. При этом ГОСТ 13109-97 устанавливает регламентированный уровень кондуктивной электромагнитной помехи, используемой в качестве опорного для координации между допустимым уровнем помех, вносимым техническими средствами пользователей электрических сетей, и уровнем помех, воспринимаемым техническими средствами, подключенными к электрической сети без нарушения их нормального функционирования.

Отдельные элементы электротехнических бытовых средств или приборов не обладают заданной помехоустойчивостью к внутренним (между элементами) и внешним (по отношению к прибору) помехам. Поэтому актуальным является рассмотрение влияния работы бытовых электроприборов на качество электроэнергии.

Цель работы – исследование влияния работы бытовых электроприборов на качество электроэнергии.

Решаемые задачи: 1) методики расчета допустимого влияния потребителя на качество электроэнергии в точке общего присоединения; 2) методики оценки фактического влияния электроустановок потребителей на качество электроэнергии в точке общего присоединения.

Техническое моделирование. Качество электрической энергии – это степень соответствия характеристик электрической энергии в данной точке электрической сети совокупности нормированных показателей качества электроэнергии [1]. Одной из основных задач исследования является выбор бытовых электрических приемников, которые могут влиять на показатели качества электроэнергии [2–4]. Для этого различные бытовые электрические приемники были классифицированы по их назначению [5]:

- пассивные потребители активной мощности (лампы накаливания, нагревательные элементы утюгов, плит, обогревателей);
- электроприемники с трехфазными асинхронными двигателями (приводы станков и механизмов – в гараже и мастерских, лифтов – в многоэтажных домах, насосов – в системе водоснабжения и отопления);
- электроприемники с однофазными асинхронными двигателями (приводы компрессоров холодильников, стиральных машин, кухонного комбайна, вентиляторов, кондиционеров);
- электроприемники с коллекторными двигателями (приводы пылесосов, электродрелей, электромиксеров, электробритв);
- сварочные аппараты переменного и постоянного тока для ремонтных работ в гараже, мастерских;
- выпрямительные устройства для зарядки аккумуляторов в гаражах и аккумуляторах радиоэлектронной аппаратуры;
- радиоэлектронная аппаратура (радиоприемники, телевизоры, телефонно-телеграфная связь, компьютерная техника);
- высокочастотные установки (печи СВЧ, жарочные шкафы);
- лампы разрядные.

При этом наиболее ответственным этапом является исследование влияния бытовых электроприемников на электрические сети и окружающее пространство.

В процессе эксплуатации под действием различного рода факторов происходит изменение работы бытовых электроприемников, которое приводит к развитию помехи. Формальное описание модели может быть принято с помощью табличного пред-

ставления, позволяющего в определенных пределах имитировать изменение свойств реального объекта. Анализ производился на основании статистических данных. Результаты исследования видов воздействия бытовых электроприемников представлены в таблице.

Влияние бытовых электроприемников на показатели качества электроэнергии

Оборудование	Показатель				
	Отклонение напряжения	Колебания напряжения	Несимметрия напряжений	Несинусоидальность напряжения	Быстроизменяющиеся напряжения с большой амплитудой
Пассивные потребители активной мощности	+		+	+	+
Асинхронный трехфазный двигатель	+		+	+	
Асинхронный однофазный двигатель	+		+	+	
Коллекторный двигатель			+	+	
Сварочный аппарат	+	+		+	+
Выпрямитель				+	

В результате работа бытовых электроприемников влияет на показатели качества в узле присоединения к сети: отклонение, несимметрию и несинусоидальность напряжения.

Анализ показал, что процесс изменения состояния системы является случайным, поэтому граничные значения диагностического параметра рассчитываются в виде статистических оценок по результатам наблюдения [6].

Для диагностического параметра определены заданные нормированные значения. Вероятность нарушения определяется вероятностью невыхода значения диагностического параметра за допустимый уровень и характеризуется функцией распределения случайной величины

$$P_i(t) = P(z_i(t) < z_{imax}),$$

где z_i – параметр показателя качества электроэнергии; $z_i(t)$ – тенденция изменения во времени показателя; z_{imax} – допустимый верхний уровень показателя, при превышении которого может возникнуть влияние работы бытового электроприемника.

Для изучения влияния бытовых электроприемников на изменение показателей качества электроэнергии использовался метод физических характеристик параметров состояния. Этот способ целесообразен для контроля показателей качества электроэнергии. Предполагаются регулярные эксплуатационные замеры и наблюдения, в результате чего выявляются характер и степень изменений во времени той или иной характеристики (отклонение напряжения, колебания, несимметрия, несинусоидальность напряжения) от нормированного значения. Получив такие зависимости, дальнейшим их сравнением с нормируемыми предельными значениями можно произвести их количественную оценку. Таким образом, можно ожидать, что при указанных условиях работы величина Z увеличится за определенный период времени.

Техника эксперимента. Для изучения количественной оценки влияния бытовых электрических приемников на качество электроэнергии используется метод анализа Парето, который заключается в классификации проблем качества на немногочисленные, но существенно важные и многочисленные, но несущественные. Он позволяет распределить усилия и установить основные факторы, с которых нужно начинать действовать с целью преодоления возникающих проблем.

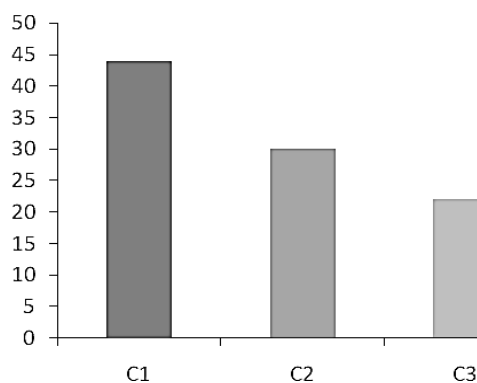
Результаты можно представить в виде столбчатой диаграммы Парето [7], которая используется для распределения усилий разрешения возникающих проблем и выявления наиболее важной причины.

Построение диаграммы Парето начинают с классификации возникающих проблем по отдельным факторам. В качестве факторов проблемы качества электроэнергии выберем наиболее значимые: отклонение, несимметрия и несинусоидальность напряжения (см. таблицу). Произведя сбор и анализ статистического материала по каждому фактору, необходимо выяснить, какие из этих факторов являются преобладающими при решении проблем. Для этого составим матрицу факторов проблемы α_n , β_n и δ_n с учетом влияния бытовых электроприемников τ_i .

Для оценки качества электроэнергии определяется результирующая матрица S – произведение контрольной матрицы факторов проблемы α_n , β_n и δ_n на матрицу влияния бытовых электроприемников τ_i :

$$S = \begin{pmatrix} \alpha_a & \beta_a & \delta_a \\ \alpha_b & \beta_b & \delta_b \\ \alpha_c & \beta_c & \delta_c \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \tau_a \\ \tau_b \\ \tau_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_a \cdot \tau_a & \beta_a \cdot \tau_b & \delta_a \cdot \tau_c \\ \alpha_b \cdot \tau_a & \beta_b \cdot \tau_b & \delta_b \cdot \tau_c \\ \alpha_c \cdot \tau_a & \beta_c \cdot \tau_b & \delta_c \cdot \tau_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{pmatrix}.$$

В прямоугольной декартовой системе координат по оси абсцисс откладывают равные отрезки, соответствующие рассматриваемым факторам, а по оси ординат – результирующие значения матрицы C_1 , C_2 и C_3 (см. рисунок). При этом порядок расположения значений матрицы таков, что влияние каждого фактора, расположенного по оси абсцисс, уменьшается по сравнению с предыдущим фактором.



Результирующие значения матрицы факторов качества электроэнергии

В результате получается диаграмма, столбики которой соответствуют отдельным факторам, являющимся причинами возникновения проблемы качества электроэнергии. Затем на основе этой диаграммы строится кумулятивная кривая.

Интерпретация результатов. Значительное увеличение контролируемой величины показателей качества электроэнергии приводит к повышению влияния устройств на показатели качества, увеличению дополнительных потерь электроэнергии в элементах системы. Использование матрицы S различных факторов проблемы с учетом влияния бытовых электроприемников позволяет получать качественно новую инфор-

мацию для принятия решений по управлению качеством, где компоненты матрицы S имеют следующую интерпретацию: влияние электроприбора, влияние электросети, характеристика нормируемого показателя.

Выводы

1. Бытовые электроприемники влияют на показатели качества электроэнергии.
2. Предлагается использовать для количественной оценки влияния бытовых электроприемников на показатели качества электроэнергии сети результирующую матрицу, компоненты которой отражают уровень оценки.

Список литературы

1. ГОСТ 13109–97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: [межгосударственный стандарт: принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации 21 ноября 1997 г. (протокол №12 – 97): введен с 1 янв. 1999 г.]. М.: ИПК «Издательство стандартов», 2000. 42 с.
2. Свидетельство № 2012612600 РФ. Расчет статистических характеристик электрических нагрузок промышленного предприятия «STATprog2.0»: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / В. Н. Соколова, В. А. Хлебников; заявитель и правообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение ВПО «Марийский гос. техн. ун-т». № 2012610271; заявл. 18.01.2012; зарегистр. 13.03.2012.
3. Свидетельство № 2013610139 РФ. Программа расчета оптимальной компенсации реактивной мощности промышленного предприятия: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / А. Л. Соколов, В. Н. Соколова; заявитель и правообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение ВПО «Поволжский гос. технол. ун-т». № 2012660053; заявл. 21.11.2012; зарегистр. 09.01.2013.
4. Свидетельство № 2013611547 РФ. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Программа расчета вероятно-статистических характеристик электрических нагрузок промышленного предприятия «Antstatsv» / А. Л. Соколов, В. Н. Соколова, М. В. Ильин; заявитель и правообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение ВПО «Поволжский гос. технол. ун-т». № 2012660773; заявл. 07.12.2012; зарегистр. 24.01.2013.
5. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. М.: Форум, 2012. 504 с.
6. Гуменюк В.М., Гуменюк П.В. Эффективность корабельного электрооборудования: учеб. пособие для вузов. Владивосток: ТОВМИ – ДВГТУ, 2004. 120 с.
7. Разу М.Л. Диаграмма Парето на практике [Электронный ресурс]. URL: <http://www.elitarium.ru> (дата обращения: 22.02.2014).
8. Глухов Д. О. Метод обнаружения повреждений изоляции с большими переходными сопротивлениями в высоковольтных сетях с изолированной нейтралью 6–20 кВ // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и информационные системы. 2010. № 1. С. 69–75.

INFLUENCE OF WORK DOMESTIC APPLIANCES POWER

Sokolova Valentina Nicolaevna, Khlebnikov Valery Alekseevich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Offered the opportunity to quantify the impact of household electrical power quality receivers by Pareto analysis. Using a matrix of different factors problems with the influence of domestic power consumers produces qualitatively new information for management decision-making quality

Keywords: *household power-consuming equipment, power quality, electromagnetic compatibility*

УДК 539.4: 534.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ПОЛОСТИ НА ДИНАМИКУ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ

Шлычков Сергей Владимирович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
shlychkovsv@volgatech.net

Представлены результаты численных исследований динамического поведения стеновой панели, расположенной на отnose от жесткого основания. Математическая модель построена с помощью методов конечных и граничных элементов. Проведен расчет и визуализация форм колебаний и мод акустического давления в диапазоне низших частот. Установлены закономерности формирования мод связанной системы в зависимости от объема акустической полости.

Ключевые слова: акустическая панель, спектр колебаний, конечный элемент, связанная система

Введение. Работа посвящена численному исследованию динамического поведения связанной системы (СС). Термин «связанная» означает систему, состоящую из двух сопряженных областей. При этом для любого момента времени поведение одной системы оказывает влияние на поведение другой и наоборот [1]. Индивидуальное динамическое поведение этих систем достаточно хорошо проработано и описано в литературе [2]. Вместе с тем физический анализ колебательного движения составной (связанной) системы в полной мере не проводился. Известны подходы к решению подобных задач относительно парциальных динамических систем – систем с двумя степенями свободы [1]. Однако можно ли полученные при этом выводы распространить на динамику более сложных конструкций?

Известно, что стеновые панели широко используются в отделке помещений. Если их применение вызвано необходимостью улучшения качества издаваемых в помещениях звуков, то подобные конструкции называются акустическими панелями. Использование акустических панелей улучшает такие качества музыкальных звуков, как полнота, мягкость и глубина звучания [3]. В работе рассматривается панель, которая крепится к потолку или стенам помещений, при этом между панелью и стеной образуется воздушная полость [4].

Цель работы – исследование влияния объема воздушной полости на колебательные движения упругой панели.

Решаемые задачи: 1) проверка адекватности разработанных расчетных моделей; 2) сопоставительный анализ спектра колебаний для связанных и парциальных систем.

Моделирование данных. Расчетная динамическая модель строится с помощью программного комплекса ANSYS [5]. Задача динамики решается методом конечных элементов. Стеновая панель представляется в виде шарнирно-опертой прямоугольной пластины, изготовленной из древесины ели (рис. 1).

Её размеры соответствуют [2], физико-механические свойства конструкционного материала представлены в табл. 1. Древесина представляется на основании модели ортотропного тела. Физико-механические характеристики древесины выбираются согласно [6].

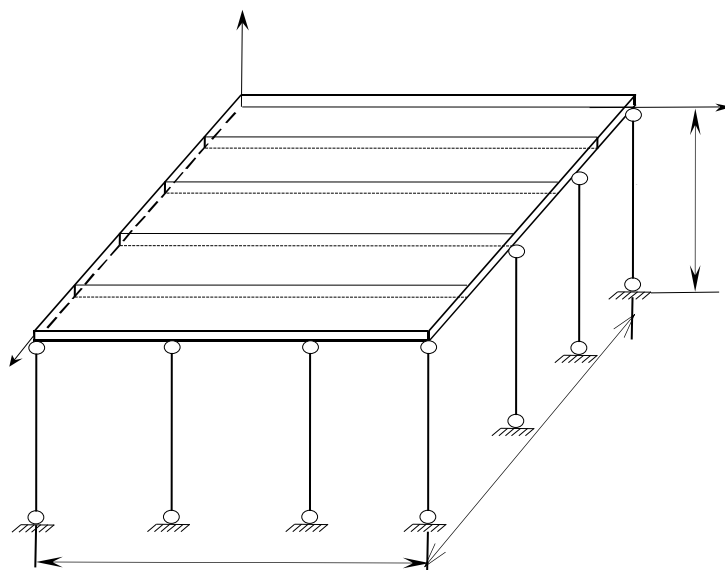


Рис. 1. Стеновая панель на отnose от жесткого основания

Таблица 1

Физико-механические характеристики сортиментов древесины ели

ρ , кг/м ³	E_x , 10 ⁷ Па	E_y , 10 ⁷ Па	E_z , 10 ⁷ Па	G_{xy} , 10 ⁷ Па	G_{yz} , 10 ⁷ Па	G_{xz} , 10 ⁷ Па	μ_{xy}	μ_{yz}	μ_{xz}
500	1622,5	70,1	40	64,5	3,47	41,6	0,44	0,42	0,33

Рассмотрены свободные колебания упруго-акустической системы, состоящей из стеновой панели и воздушной полости между панелью и жестким основанием. Для парциальных систем использован метод итераций в подпространстве [2], для СС вследствие несимметричности матриц жесткости и масс использован специальный программный алгоритм ANSYS [5]. Результаты численного анализа сведены в табл. 2.

В таблицах курсивом отображены частоты, связанные с динамикой воздушной полости.

Таблица 2

Собственные частоты парциальных и СС

МОДА	Панель ν , Гц	Воздушная полость ω , Гц	Панель – воздушная полость ρ , Гц		
			$H=0,15$ м	$H=0,25$ м	$H=0,35$ м
1	52		61	60	56
2	92		86	87	92
3		<i>113</i>	<i>121</i>	<i>116</i>	<i>113</i>
4	160		158	153	155
5	178		173	176	180
6	206		205	206	210
7		<i>213</i>	<i>217</i>	<i>212</i>	<i>213</i>
8		<i>227</i>	<i>230</i>	<i>225</i>	<i>227</i>
9		<i>241</i>	<i>246</i>	<i>238</i>	<i>239</i>
10	250		247	240	241

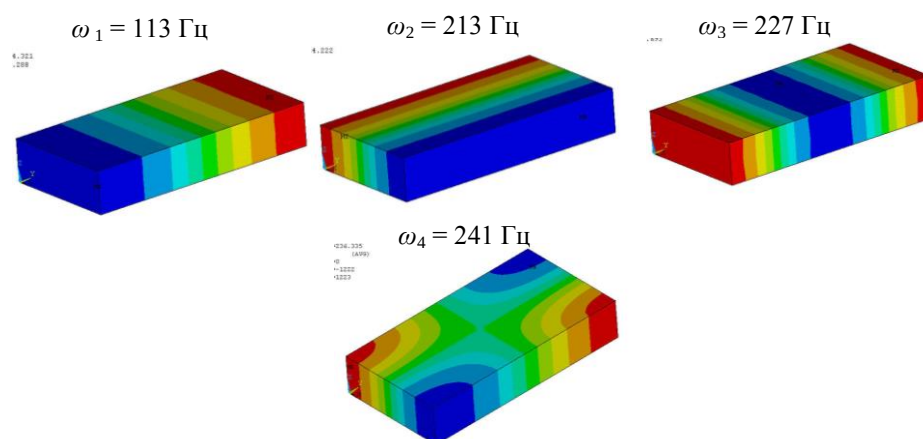


Рис. 2. Моды воздушной полости – парциальной системы

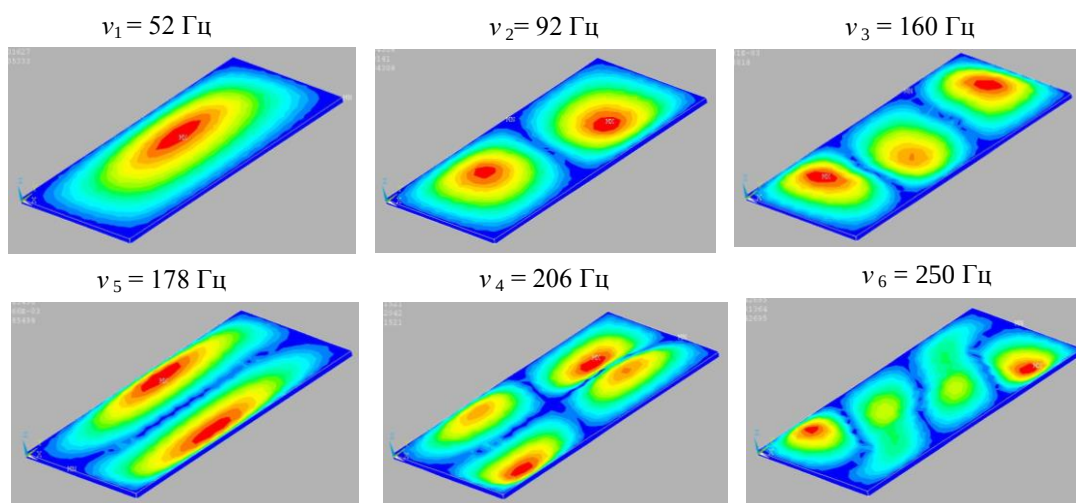
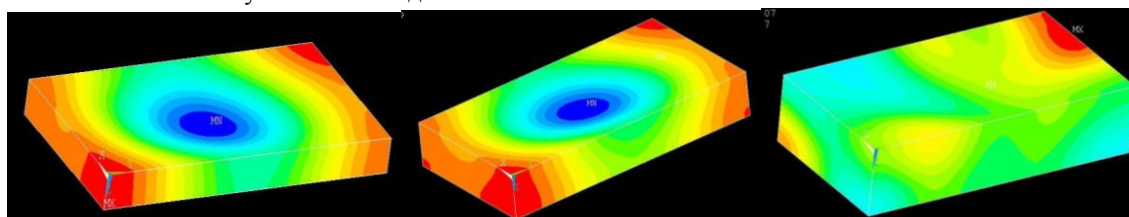


Рис. 3. Моды акустической панели – парциальной системы

Акустические моды на низшей собственной частоте СС



Структурные моды на низшей собственной частоте СС

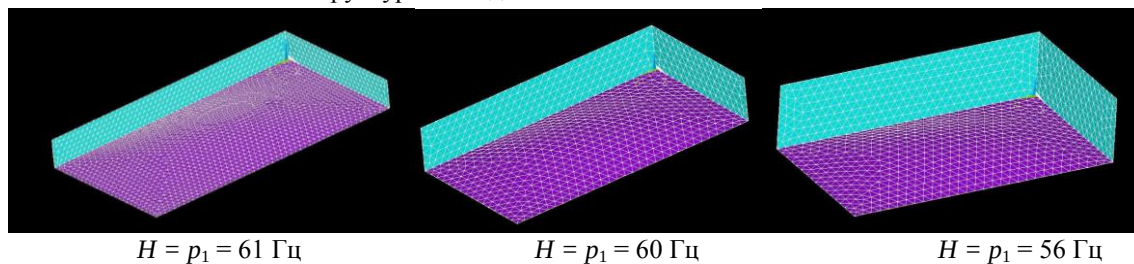


Рис. 4. Первая форма колебаний СС

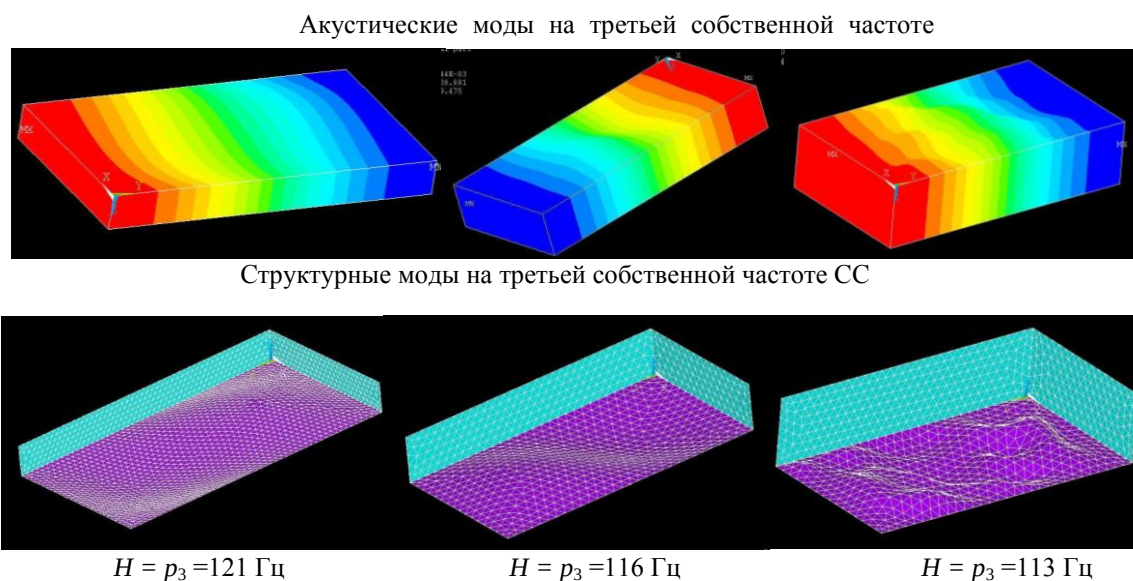


Рис. 5. Третья форма колебаний СС

Интерпретация результатов. Анализ полученных данных позволяет отметить следующую особенность. СС способна реагировать на собственных частотах одновременно по модам обеих парциальных систем. В этом случае собственные частоты СС отличаются от парциальных: низшая частота СС возрастает на 15%, отличие более высоких частот становится меньшим. Зафиксированы случаи, когда одна подсистема реагирует по парциальной моде, другая – хаотическим образом. В случае такого рассогласования колебаний собственная частота СС соответствует частоте той парциальной подсистемы, мода которой не является хаотической. Это явление хорошо заметно в случае акустической панели, расположенной на расстоянии $H = 0,35$ м от жесткого основания. Первая акустическая мода СС имеет хаотический характер, при этом разница между собственной частотой СС ($p_1 = 56$ Гц на рис. 4) и частотой парциальной системы – панели ($v_1 = 52$ Гц на рис. 3) уменьшается до 7%. Аналогично, третья мода СС оказывается рассогласованной: структурная мода является хаотической (рис. 5), поэтому собственная частота СС $p_3 = 113$ Гц соответствует частоте акустической подсистемы $\omega_1 = 113$ Гц (см. рис. 2). Спектр СС, в случаях согласованных колебаний парциальных подсистем, заметно отличается от спектра парциальных подсистем.

Выводы

1. Численные эксперименты показали, что частотный спектр СС состоит из спектров парциальных подсистем. При этом спектральный состав СС не является суммой спектров парциальных подсистем.
2. В отдельных случаях моды СС могут существенным образом отличаться от парциальных. При этом возникают хаотические колебания.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №13-01-97045 р_поволжье_а.

Список литературы

1. Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний. М.: Наука, 1964. 440 с.
2. Шлычков С.В., Иванов О.Г. Анализ влияния физико-механических свойств древесины на качество акустических панелей // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 4. С. 57-63.

3. Борисов Л.А., Щиржецкий Х.А., Насонова Е.В. Акустика малых музыкальных помещений // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 65-72.
4. Шлычков С.В. Исследование резонансных свойств акустических панелей // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С.170.
5. Шлычков С.В. Исследование динамических процессов в задачах сопряженного типа // Ansys Advantage. Русская Редакция. 2011. № 2, вып. 16. С. 43-49.
6. Ашкенази Е.К., Ганов Э.В. Анизотропия конструкционных материалов. Л.: Машиностроение, 1980. 247 с.

STUDY OF THE INFLUENCE OF ACOUSTIC CAVITY ON THE DYNAMICS OF THE WALL PANELS

Shlychkov Sergey Vladimirovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The results of numerical investigations of the dynamic behavior of the wall panel situated on the delivery from the rigid base are presented. The mathematical model is built using the methods of finite and boundary elements. Is carried out calculation and visualization of the forms of the vibrations and acoustic modes in the range of the lowest frequencies. Set rules of modes formation of related system depending on the volume of acoustic cavity.

Keywords: acoustic panel, the spectrum of fluctuations, the finite element, connected system

ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 674.049.2, 674.046.7

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ ЛИПЫ (*Tilia europaea*) И ОСИНЫ (*Pópulus trémula*) ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

*Королев Александр Сергеевич, Шапкина Анастасия Владиславовна,
Разинов Александр Сергеевич, Цветкова Екатерина Михайловна*

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
KorolevAS@volgatech.net

*Представлена методика экспериментальных исследований и значения изменения величины потери массы и изменения плотности. Экспериментально определены значения величины предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе термически модифицированной древесины осины (*Tilia europaea*) и липы (*Pópulus trémula*) при максимальных температурах модификации 180, 200 и 220°C.*

Ключевые слова: *термически модифицированная древесина, потеря массы, плотность, предел прочности при статическом изгибе, статический модуль упругости*

Введение. Одним из традиционных строительных материалов на территории нашей страны является древесина. К основным преимуществам древесины относятся её возобновляемость, экологичность использования, а также уникальные физико-механические свойства, позволяющие ее применять в различных отраслях промышленности [1]. Однако она подвержена влиянию дереворазрушающих грибов и организмов при наличии благоприятных условий для их развития, вследствие чего её нельзя использовать в условиях повышенной влажности воздуха или контакта с влагой. В связи с этим применяют антисептирование и консервирование древесины, что позволяет защитить деревянные строительные конструкции от воздействия дереворазрушающих грибов и плесени.

Сегодня в нашей стране и за рубежом развивается направление термической обработки древесины (ТМД), в результате которой древесина подвергается нагреву до высоких температур от 160 до 240°C, например, в среде водяного пара или газов. В результате такой обработки древесина приобретает повышенную биологическую стойкость, низкую гигроскопичность, стабильность размеров и форм, а также увеличива-

ется влаго- и водостойкость, что способствует широкому применению данной продукции в таких областях, как домостроение и производство строительных материалов.

Однако основным недостатком термически модифицированной древесины является незначительное снижение некоторых физико-механических характеристик, зависящих от режима (время и температура) процесса обработки [2-5]. В этой области проведен ряд исследований, в которых отмечается изменение физико-механических свойств термически модифицированной древесины, что, безусловно, связано с химическим изменением древесины после термической обработки [6-8].

Тем не менее необходимо проведение дальнейших исследований свойств термически модифицированной древесины различных пород, в том числе произрастающих в Российской Федерации, с целью выявления основных направлений её дальнейшего использования.

Цель работы – определение величин потери массы, изменения плотности, предела прочности при статическом изгибе и статического модуля упругости термически модифицированной древесины липы (*Tilia europaea*), осины (*Pópulus trémula*).

Решаемые задачи: 1) изготовление образцов древесины липы и осины для определения модуля упругости и предела прочности по ГОСТ 16483.0-89; 2) термическая модификация образцов древесины в параконвекционной камере при температурах 180, 200 и 220 °С; 3) определение величины потери массы и плотности образцов древесины после термической обработки; 4) кондиционирование образцов древесины до нормализованной влажности в соответствии с ГОСТ 16483.0-89; 5) определение предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе по ГОСТ 16483.3-84 «Метод определения предела прочности при статическом изгибе»; 6) статистическая обработка экспериментальных данных в программном комплексе «Statistica 8.0» и «Statgraphics Centurion XV».

Техника эксперимента. Для определения предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе ТМД липы (*Tilia europaea*) и осины (*Pópulus trémula*) были изготовлены по с ГОСТ 16483.3-84 образцы размерами 20х20х300 мм (по 50 образцов каждой породы). Отдельной партией изготавливались образцы для определения потери массы и изменения плотности древесины после процесса термической обработки (по 75 образцов каждой породы).

Определение величины потери массы и изменения плотности выполняли следующим образом: образцы высушивались до абсолютно сухого состояния до термической обработки, взвешивались и определялись геометрические параметры образцов. Такие же действия производили после модификации образцов.

Термическая модификация образцов древесины осуществлялась по аналогии с запатентованной технологией обработки «ThermoWood» в среде водяного пара при максимальных температурах процесса модификации 180, 200 и 220°С. Значения плотности и массы образцов древесины до и после термической модификации определялись согласно ГОСТ 16483.1-84 и ГОСТ 16483.7-71 при помощи аналитических весов AF-R220CE с точностью 0,001 грамма. Геометрические размеры образцов измерялись при помощи электронного штангенциркуля. Определение модуля упругости и предела прочности при статическом изгибе осуществлялось на универсальной разрывной машине AG-50kNXD (Shimadzu). Кондиционирование до нормализованной влажности образцов древесины, подвергаемых исследованию, осуществлялось в лабораторной климатической камере.

Интерпретация результатов. На рис. 1 в виде Box plot графиков (Statistica) представлены значения потери массы образцов древесины липы (*Tilia europaea*) и осины

(*Pópulus trémula*) после термической обработки. Наблюдается рост потери массы образцов древесины липы (*Tilia europaеа*) при повышении максимальной температуры процесса термической модификации в среднем на 2,63; 6,53 и 13,44 % в соответствии температурами обработки 180, 200 и 220 °С. Потеря массы древесины осины (*Pópulus trémula*) составляет в среднем 1,11; 3,71 и 16,15 % при температурах обработки 180, 200 и 220 °С.

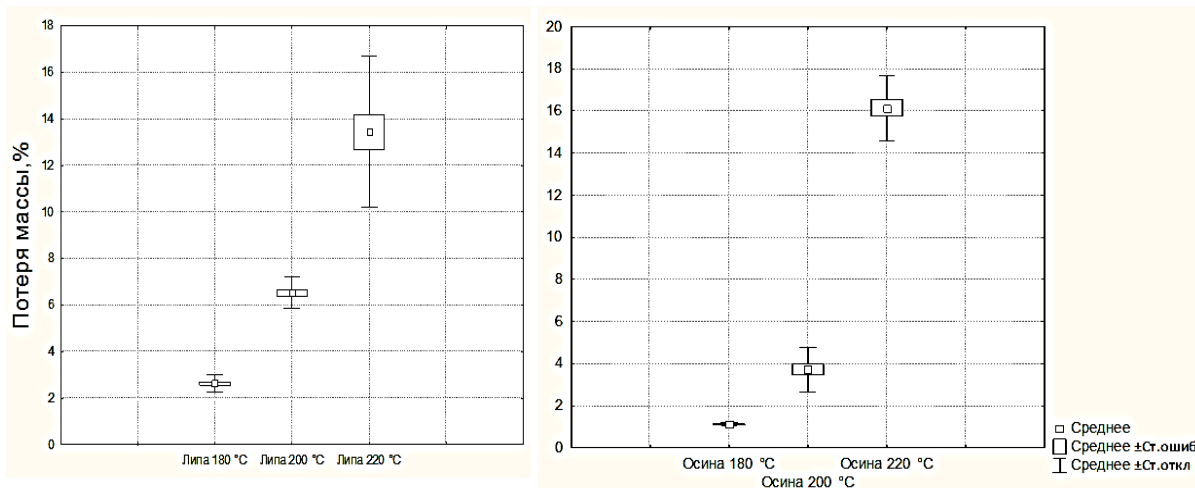


Рис. 1. Потеря массы образцов древесины липы (*Tilia europaеа*) и осины (*Pópulus trémula*) после процесса термической модификации

На рис. 2 показано изменение плотности древесины. Плотность образцов древесины липы (*Tilia europaеа*) уменьшается на 2,2; 3,27 и 7,34 % при повышении максимальной температуры обработки соответственно на 180, 200 и 220 °С. Снижение плотности образцов древесины осины (*Pópulus trémula*) составляет в среднем 2,04; 2,86 и 10,63 % в соответствии с температурами модификации 180, 200 и 220 °С.

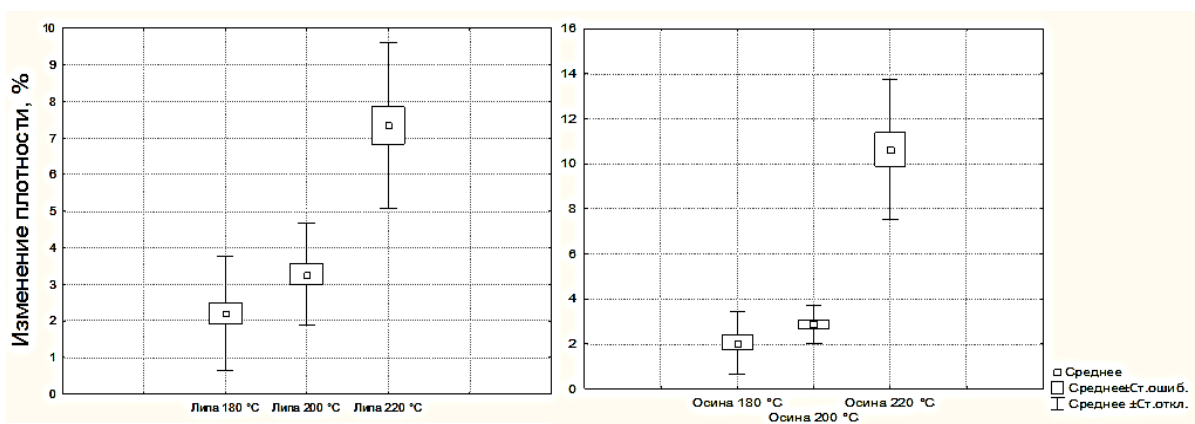


Рис. 2. Изменение плотности образцов липы (*Tilia europaеа*) и осины (*Pópulus trémula*) после процесса термической модификации

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем. Образец древесины устанавливали в приспособление для испытания в соответствии ГОСТ 16483.3-84 так, чтобы изгибающее усилие было направлено по касательной к годичным слоям. Нагружение образцов производили равномерно при скорости перемещения нагружа-

ющей головки 4 мм/мин. Испытание проводили до разрушения образца. После разрушения образца данные обрабатывались и сохранялись на ЭВМ. Статический модуль упругости определялся на прямолинейном участке диаграммы статического изгиба в пределах нагружения 150-500 Н (рис. 3).

Результаты исследований статического модуля упругости и предела прочности при статическом изгибе представлены на box plot графиках (рис. 4). Предел прочности при статическом изгибе образцов древесины липы (*Tilia europaea*) при температуре модификации 180 °С повышается в среднем на 9,2 %, а при температурах обработки 200 и 220 °С понижается соответственно на 0,5 и 4,6 % в сравнении с немодифицированной древесиной.

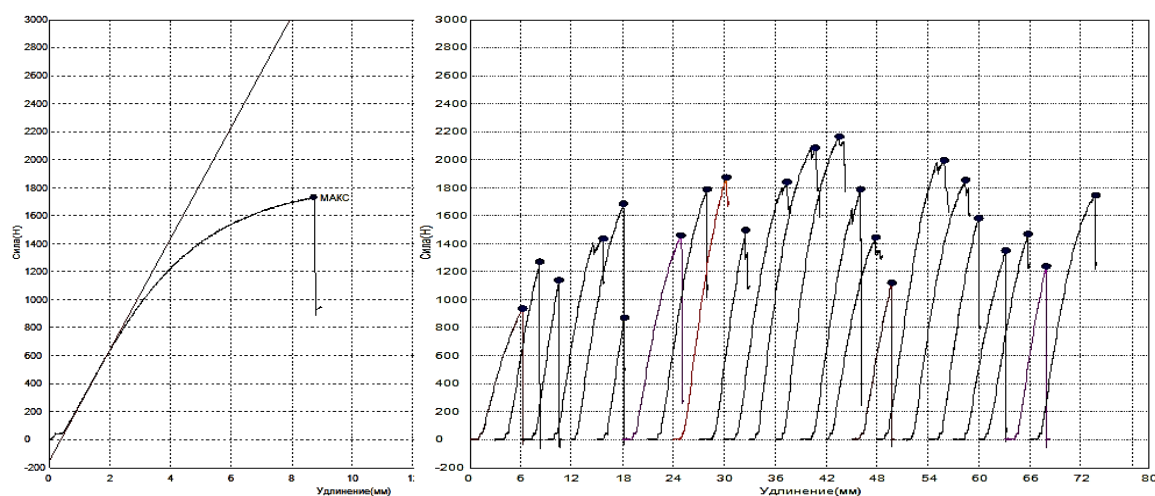


Рис. 3. Диаграмма статического изгиба одного из образцов древесины липы (*Tilia europaea*), обработанной при температуре 200 °С (слева), набор диаграмм статического изгиба образцов ТМД липы при 200 °С

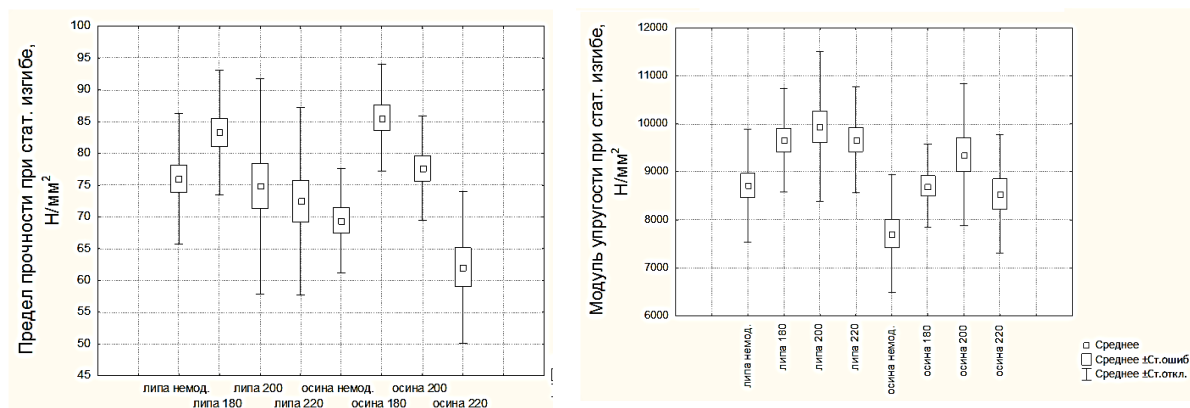


Рис. 4. Результаты экспериментальных исследований предела прочности (слева) и модуля упругости (справа) при статическом изгибе пород древесины липы (*Tilia europaea*) и осины (*Pópulus trémula*)

Тенденция повышения предела прочности при статическом изгибе характерна и для образцов древесины осины (*Pópulus trémula*). При режимах обработки 180 и 200 °С предел прочности повышается на 23%, а при режиме обработки 220 °С – на 11,5 %.

Сравнение средних значений модулей упругости образцов до и после процесса термической модификации выявило повышение модуля упругости образцов древесины липы (*Tilia europaea*) на 10,5; 14 и 10,9 % в среднем при режимах обработки 180, 200 и 220 °С. Модуль упругости при статическом изгибе образцов древесины осины также увеличился в среднем на 12,8; 21,2 и 10,6 % при режимах обработки 180, 200 и 220 °С соответственно.

Выводы. Величина потери массы образцов древесины липы увеличивается в среднем на 2,63; 6,53 и 13,44 % при повышении максимальной температуры процесса термической модификации соответственно до 180, 200 и 220 °С. Величина потери массы древесины осины составляет в среднем 1,11; 3,71 и 16,15 % при температурах обработки 180, 200 и 220 °С соответственно.

Плотность образцов древесины липы уменьшается в среднем на 2,2; 3,27 и 7,34 % при повышении максимальной температуры обработки соответственно до 80, 200 и 220 °С. Снижение плотности древесины осины составляет в среднем 2,04; 2,86 и 10,63 % при температурах модификации 180, 200 и 220 °С соответственно.

Сравнение средних значений предела прочности при статическом изгибе образцов древесины липы выявило статистически значимое увеличение данной величины на 9,2 % при температуре модификации 180 °С, однако при температурах обработки 200 и 220 °С данный параметр значимо уменьшается соответственно на 0,5 и 4,6 % относительно немодифицированной древесины.

Статический модуль упругости образцов древесины липы значимо повышается в среднем на 10,5; 14 и 10,9 % при режимах обработки 180, 200 и 220 °С. Модуль упругости при статическом изгибе образцов древесины осины увеличивается в среднем на 12,8; 21,2 и 10,6 % при режимах обработки 180, 200 и 220 °С соответственно.

Работа выполнена под руководством Е. С. Шарапова, канд. техн. наук, доцента кафедры деревообрабатывающих производств ПГТУ.

Список литературы

1. Мелехов В.И., Бызов В.Е. Приведение результатов производственного контроля прочности и упругости пиломатериалов к нормализованной // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2008. № 1(2). С. 48–53.
2. Экспериментальные исследования процесса резания термически модифицированной древесины березы / Е.С. Шарапов [и др.] // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. 2011. № 3. С. 125–128.
3. Шарапов Е.С., Королев А.С., Хисамеева А.Р. Исследование влияния термической модификации на изменение плотности древесины по годичным слоям // Вестник Казанского технологического университета. Казань. 2013. № 22. С. 101–104.
4. Шарапов Е.С., Королев А.С. Экспериментальные исследования процессов продольного цилиндрического фрезерования и пиления термически модифицированной древесины дуба // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2014. № 2. С. 96–100.
5. Шарапов Е.С., Karl-Christian Mahnert, Королев А.С. Экспериментальные исследования физико-механических свойств термически модифицированной древесины сосны // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. 2013. № 2. С. 90–96.
6. Шарапов Е.С., Королев А.С., Хисамеева А.Р., Исследование влияния термической обработки древесины сосны (*Pinus sylvestris*) на качество клеевых соединений в клееных деревянных конструкциях // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 5. С. 38–42.

7. Boonstra M. J., Van Acker J., Pizzi A. Anatomical and molecular reasons for property changes of wood after full-scale industrial heat treatment // Paper of the 3th European conference on wood modification ECWM3 Cardiff, 15-17 October 2007.
8. ThermoWood Handbook / Finnish Thermo Wood Association. Helsinki, Finland, 2003.

**CHANGES IN PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD LINDEN
(*Tilia Europaea*) AND ASPEN (*Pópulus Trémula*) AFTER HEAT TREATMENT**

**Korolev Alexander Sergeevich, Shapkina Anastasia Vladislavovna, Razinov Alexander Sergeevich,
Tsvetkova Catherina Mihaylovna**

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

*The technique of experimental studies and the value change of the weight loss and the change in density as well as the experimentally determined values of modulus of rupture and modulus of elasticity in static bending of thermally modified wood aspen (*Tilia europaea*) and limes (*Pópulus trémula*) at maximum temperatures modification 180, 200 and 220 °C.*

Keywords: thermally modified wood, weight loss, density, modulus of rupture, static modulus of elasticity

УДК 630.31

**МАШИНА ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ТРЕЛЕВКИ ДРЕВЕСИНЫ
НА БАЗЕ ФОРВАРДЕРА И АНАЛИЗ ЕЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ**

Ширнин Александр Юрьевич, Зверев Илья Владимирович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
ShirninAU@volgatech.net

Предметом исследования является технология разработки пораженных пожаром древостоев, ветровалов, лесосек с переувлажненной местностью, осуществляемая машиной для комбинированной трелевки древесины. Выведена формула производительности трелевочной машины. Выявлена зависимость производительности от факторов, характеризующих предмет труда, технологию и параметры трелевочной машины.

Ключевые слова: горельники, трелевка древесины, ветровалы, комбинированная трелевка, переувлажненные территории, производительность

Введение. В настоящее время такое явление как лесной пожар происходит ежегодно, и в связи с изменением климата лесные пожары как в России, так и во всем мире случаются чаще. Как известно, после пожара необходимо как можно быстрее очистить лесосеку от пострадавших деревьев, так как они представляют опасность как очаги распространения болезней и различных вредных насекомых. Помимо горельников немалую опасность представляют и ветровальные деревья. Разработка таких лесосек традиционными системами машин затруднительна и опасна для рабочего персонала. Также сейчас является актуальной проблема разработки лесосек на переувлажненных территориях и территориях, отдаленных от транспортных путей, так как запас леса на благоприятных с точки зрения рубок и транспортировки лесосеках стремительно уменьшается. В этой связи вектор развития лесопользования в сторону труднодоступ-

ных территорий (переувлажненных, ветровальных, с пересеченной поверхностью, отдаленных от транспортных путей и др.) имеет весьма существенное значение.

В настоящее время в лесопользовании отдается предпочтение развитию малых лесопромышленных предприятий. На стадии накопления капитала и при существующей форме собственности на лесные ресурсы такое положение дел вполне оправдано. Рациональной формой комплексного освоения участков лесного фонда в малом предприятии является поквартальный способ организации работ. Данный способ организации деятельности малого предприятия характеризуется тем, что квартал или группа кварталов разбивается на участки леса, образованные путем объединения выделов для проведения рубок промежуточного и главного пользования, первичной обработки и переработки биомассы дерева, а также для осуществления лесовосстановительных мероприятий [3, 1].

За исключением работ в питомниках лесовосстановительные работы носят кратковременный, сезонный характер. Оборудование для производства этих работ большую часть времени года, как правило, простаивает [1].

Одним из вариантов, когда оборудование можно использовать без значительного простоя, является вариант, при котором мастерский участок или бригада имеют в своем составе энергетический модуль. К нему можно прицеплять (или навешивать) модули с технологическим оборудованием, обеспечивающим заготовку, обработку и переработку древесины и лесовосстановительные работы. Рабочие должны владеть смежными специальностями, обеспечивая весь комплекс лесных работ. Набор технологических модулей, которые за короткое время можно поменять, позволяет выполнять весь комплекс работ малого инновационного предприятия. Простота технологических модулей (технологического навесного оборудования) не избежать, но его цена будет минимальна при условии полной загрузки энергетических модулей [3].

Цель работы – моделирование процесса трелевки древесины с использованием технологического модуля с лебедкой, грузовым отсеком и энергетического модуля с манипулятором, клещевым захватным устройством для крепления опорного блока в клещевом захвате манипулятора; оценка производительности при разработке пораженных пожаром древостоев.

Решаемые задачи: составление информационно-логической и математической модели функционирования и получения формулы для расчета производительности оборудования; оценка производительности при изменении параметров модели.

Математическое моделирование. При трелевке древесины с использованием лебедки на пути движения трелеваемой пачки неизбежно могут встречаться различные препятствия в виде валежников, пеньков, неровностей почвы и т.д. Поэтому предпочтительней трелевку пачки хлыстов (деревьев) осуществлять с приподниманием переднего конца. Как было отмечено во введении, в настоящее время все больше становится малых лесозаготовительных предприятий, которым держать в своем арсенале дорогостоящую технику экономически не выгодно. Исходя из этого применение трелевочной машины с комбинированным технологическим модулем является весьма целесообразным. Данная машина должна обладать легкостью и быстротой перехода от выполнения одной операции (трелевки) к другой (погрузки сортиментов в грузовой отсек), для того чтобы иметь высокую производительность.

При установке опорного блока на дерево-мачту тратится достаточно большое количество времени, поэтому одной из задач данной статьи является минимизация затрат времени на установку и снятие опорного блока, а также упрощение конструкции

крепления опорного блока, располагаемого в клещевом захвате на манипуляторе трелевочной машины.

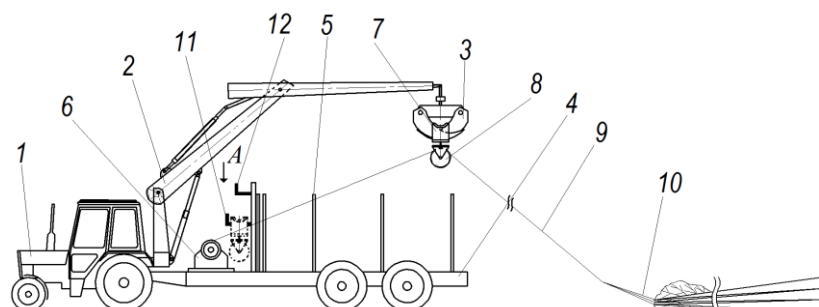


Рис. 1. Машина для комбинированной трелевки лесоматериалов

Одним из возможных вариантов решения является то, что опорный блок устанавливается в устройстве, имеющем коробчатое сечение в виде полого параллелепипеда, к нижней части которого прикрепляется блок с возможностью его поворота в горизонтальной плоскости, позволяющем поднимать его на определенную высоту клещевым захватом, например, форвардера.

На рис. 1 показана машина для трелёвки лесоматериалов, включающая в себя энергетический модуль 1 с манипулятором 2, на конце которого установлен клещевой захват 3 и технологический модуль 4 с грузовым отсеком 5, лебедкой 6, устройством 7 для крепления опорного блока 8, грузовым канатом 9 и чокерами 10, крюками 11 для подвешивания устройства для удержания опорного блока, крюками 12 для подвешивания чокеров.

На рис. 2 приведена конструкция технологического модуля (вид сверху). На рис. 3 представлено устройство для крепления опорного блока.

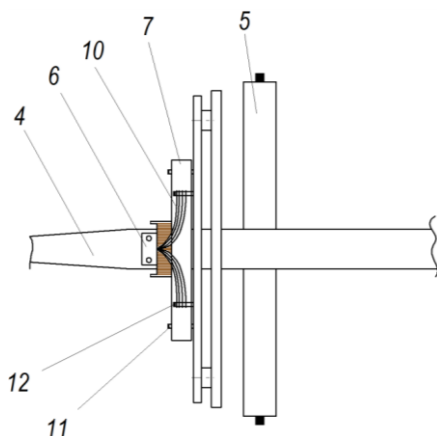


Рис. 2. Конструкция технологического модуля (вид сверху)

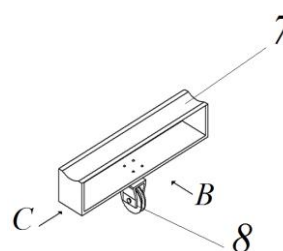


Рис. 3. Устройство для крепления опорного блока в клещевом захвате манипулятора

Лесозаготовительная машина работает следующим образом.

Машина лесозаготовительная в составе энергетического модуля 1 и технологического модуля 4 с лебедкой 6 и грузовым отсеком 5 заезжает по магистральному волоку к очередной пасеке с поваленными деревьями (хлыстами) или с небольшими пачками, приготовленными валочно-пакетирующей машиной. Рабочий снимает чокера с крюков 12 и устройство 7 для крепления опорного блока 8 с крюков

11. Далее оператор, управляя манипулятором 2, захватывает клещевым захватом 3 устройство для крепления опорного блока, через который пропущен грузонесущий канат 9, и поднимает его на необходимую высоту. При расторможенной лебедке чокера вместе с концом грузонесущего каната опускаются на поверхность под собственным весом и растаскиваются рабочим по пасечному волоку до места формирования пачки деревьев (хлыстов). Затем чокерами 10 чокаруются поваленные деревья (хлысты); включается установленная на технологическом модуле лебедка на наматывание грузонесущего каната, деревья (хлысты) формируются в пачки и подтрелевываются к магистральному волоку, где их отцепляют и оставляют пачку. Далее цикл повторяется до тех пор, пока не будут подтрелеваны к магистральному волоку все деревья или небольшие пачки с пасеки. После этого оператор манипулятором опускает клещевой захват, путем его раскрытия освобождает устройство для крепления опорного блока. Далее рабочий укладывает на соответствующие крюки крепление для опорного блока и чокера. Машина лесозаготовительная переезжает к другой пасеке, и цикл подтрелевки повторяется вышеописанным способом. В это время, в соответствии с технологическим процессом, деревья очищаются от сучьев, а хлысты раскряжеваются любым из известных способов. После подтрелевки всей древесины с пасек, примыкающих к магистральному волоку, машина осуществляет погрузку сортиментов клещевым захватом в грузовой отсек технологического модуля и трелевку их на верхний склад или лесопогрузочный пункт.

Разработка пасеки с использованием машины для комбинированной трелевки лесоматериалов осуществляется согласно принципу, изложенному в [3, 4]. С учетом изменения конструкции технологического модуля трелевочной машины и крепления опорного блока была переработана информационно-логическая модель работы машины на территориях, пораженных пожарами.

На основании информационно-логической модели составлена математическая модель функционирования машины для комбинированной трелевки лесоматериалов. Число блоков математической модели равно числу блоков информационно-логической модели. Для ее создания выполняется символизация параметров аналогично параметрам, представленным в [3, 4]. Используя методику расчета сменной производительности [3, 4], находим выражение для определения производительности трелевочной машины $\Pi_{см}$:

$$\Pi_{см} = \frac{3600 \cdot \varphi_1 \cdot m \cdot V_{cp} \cdot z}{\left(\frac{10^4 \cdot V_{cp} \cdot z}{A \cdot C \cdot q} \cdot (t_{ms} + t_{sy}) + \frac{2 \cdot 10^4 \cdot V_{cp} \cdot z}{A \cdot B \cdot q} \cdot \left(\frac{B}{9} + t_{pr} + t_{mp} + t_{sm} + t_{okyp} \right) + \frac{l_{rk}}{9_x} + t_{ngk} + \frac{l_{rk}}{9_g} + \right. \\ \left. + z \cdot (K_1 \cdot t_{zd} + K_2 \cdot t_{nks} + K_3 \cdot t_{sks} + t_{sh}) + z \cdot (K_1 + K_2 + K_3) \cdot \frac{\pi \cdot (0,212 \cdot V_{cp} + 0,152)^2}{4 \cdot \varphi_{ч.п.} \cdot \Pi_{ч.п.}} + t_{okz} + \right. \\ \left. t_{rkz} + t_{fy} + t_{ssm} \right),$$

где φ_1 – коэффициент использования рабочего времени; m – количество часов в смене, ч; V_{cp} – средний объём хлыста m^2 ; z – число чокеров; A – ширина делянки, м; C – глубина делянки, м; q – средний запас леса на 1 га, $m^3/га$; B – ширина пасеки, м; l_{rk} – расстояние от машины до собираемого дерева, м; v – средняя скорость ТМЛ, м/с; v_x – средняя скорость движения трелевочного каната без груза, м/с; v_g – средняя ско-

рость движения каната с грузом, м/с; t_{ms} – время маневров на верхнем складе, с; t_{sy} – время снятия рабочими устройства и чокеров с крюков ТМ, с; t_{pr} – время передвижения рабочих с устройством к задней части ТМ, с; t_{sm} – время на раскладывание стрелы манипулятора, с; t_{okyp} – время на установку устройство для крепления ОБ в клещевой захват манипулятора, с; t_{ngk} – время формирования пачки, с; t_{zd} – время чокеровки зависших деревьев, с; t_{nks} – время чокеровки ДНКС, с; t_{sks} – время чокеровки ДСКС, с; t_{sh} – время снятия чокеров, с; t_{okz} – время опускания КЗ на землю, с; t_{rkz} – время раскрытия КЗ, с; t_{fy} – время раскрытия КЗ, с; t_{ssm} – время на складывание стрелы манипулятора, с; $\Pi_{ч.п.}$ – производительность чистого пиления бензопилы $\text{м}^2/\text{с}$; $\varphi_{ч.п.}$ – коэффициент использования производительности чистого пиления; K_1 – доля зависших деревьев; K_2 – доля деревьев с НКС; K_3 – доля деревьев с СКС; K_4 – доля стоящих деревьев.

Расчет выполнен при следующих значениях: $\varphi_1 = 0,8$; $m = 8$ ч; $V_{cp} = 0,25 \text{ м}^3$; $z = 6$; $A = 45 \text{ м}$; $C = 400 \text{ м}$; $q = 150 \text{ м}^3/\text{га}$; $B = 20 \text{ м}$; $l_{rk} = 60 \text{ м}$; $v_x = 1 \text{ м/с}$; $v_g = 0,5 \text{ м/с}$; $t_{ms} = 60 \text{ с}$; $t_{sy} = 15 \text{ с}$; $t_{pr} = 20 \text{ с}$; $t_{sm} = 10 \text{ с}$; $t_{okyp} = 40 \text{ с}$; $t_{ngk} = 10 \text{ с}$; $t_{zd} = 20 \text{ с}$; $t_{nks} = 20 \text{ с}$; $t_{sks} = 20 \text{ с}$; $t_{okz} = 15 \text{ с}$; $t_{rkz} = 10 \text{ с}$; $t_{fy} = 25$; $t_{ssm} = 10 \text{ с}$; $v = 0,8 \text{ м/с}$; $\Pi_{ч.п.} = 0,05 \text{ м}^2/\text{с}$; $\varphi_{ч.п.} = 0,6$.

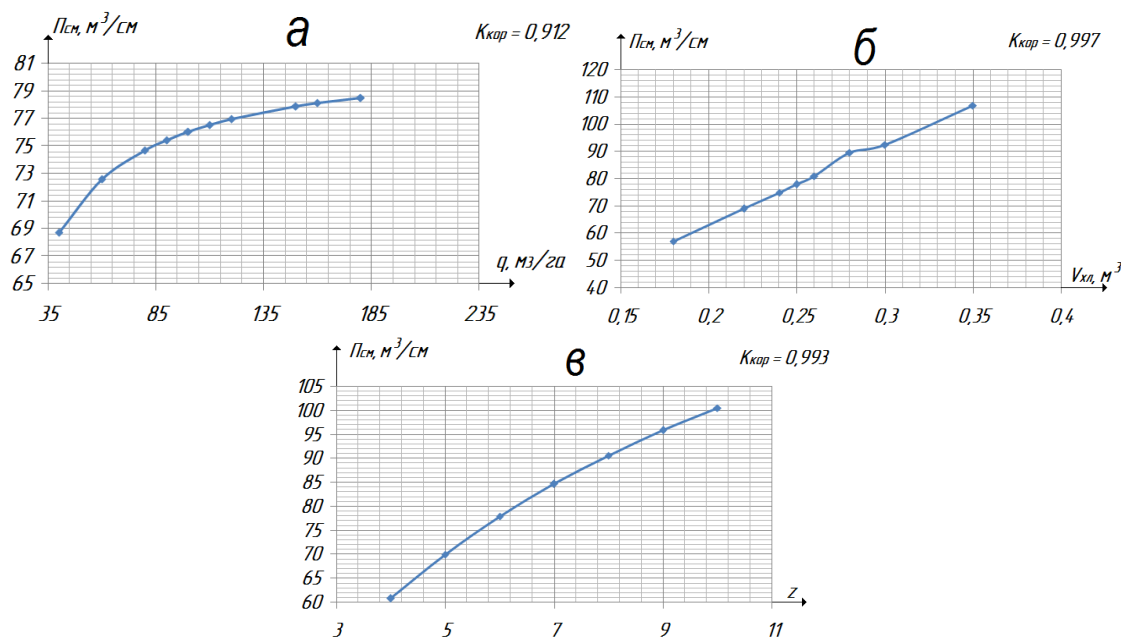


Рис. 4. Графики зависимости сменной производительности ($\Pi_{см}$) оборудования от: а – среднего запаса леса на 1 га, q , $\text{м}^3/\text{га}$; б – среднего объема хлыста V_{cp} , м^3 ; в – количества чокеров z , шт.

Выводы. В результате применения данного технического решения упрощается конструкция машины, снижается вертикальная нагрузка на технологический модуль, сокращается время установки опорного блока в технологическом цикле, снижаются энергозатраты на процесс трелёвки, повышается производительность труда.

Представленная конструкция трелевочной машины рекомендуется к использованию при разработке горельников. Последовательная разработка информационно-логической и математической моделей позволяет избежать грубых ошибок при описании технологического процесса и получении формулы производительности. Производительность оборудования возрастает при увеличении запаса леса на 1 га, среднего объема хлыста и количества чокеров.

Список литературы

1. Лесное ресурсоведение: учебник / Ю.А. Ширнин [и др.] / под ред. проф. Ю.А. Ширнина. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2012. 356 с.
2. Пат. 112592 РФ, МПК A01G23/00. Машина для трелевки / Ширнин Ю. А., Ширнин А. Ю., Егоров А. В., Зверев И. В., Моржанов А. Ю.; заявитель и патентообладатель Марийский гос. техн. университет. № 2010129675/13; заявл. 15.07.2010; опубл. 20.01.2012, Бюл. № 2.
3. Ширнин Ю.А., Ширнин А.Ю., Зверев И.В. Моделирование процесса заготовки пораженных пожаром деревьев бензопилой и технологическим модулем с лебедкой [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. Режим доступа: www.science-education.ru/113-10927, свободный (дата обращения 08.11.2013).
4. Моделирование энергозатрат при комбинированной трелевке древесины адаптивно-модульными машинами / Ю.А. Ширнин [и др.] // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 3. С. 50–57.

**MACHINE FOR COMBINED TIMBER SKIDDING BASED FORWARDER
AND AN ANALYSIS OF ITS PERFORMANCE**

Shirnin Alexander Yurievich, Zverev Ilya Vladimirovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The subject of research is the development of technology in the heat-affected stands, windblown, felling areas with waterlogged terrain, combined exercise machine for timber skidding. A formula is derived performance skidder. The dependence of the performance of the factors that characterize the object of labor, technology and parameters skidder.

Keywords: *burnt wood, hauling wood, windbreaks, combined rating of skidding, wetlands, performance*

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 691.327

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА СРОКИ СХВАТЫВАНИЯ ЦЕМЕНТА

Анисимов Сергей Николаевич

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
AnisimovSN@volgatech.net

Исследовано влияние содержания суперпластификаторов поликарбоксилатного типа Glenium-51, Glenium ACE 430, Glenium C 323MIX и ускорителя твердения X-SEED100 компании BASF на сроки схватывания цементных паст. Введение ускорителя твердения X-SEED 100 в цементные пасты, модифицированные суперпластификатором Glenium ACE 430, способствует сокращению периода схватывания.

Ключевые слова: бетон, цементная паста, суперпластификатор, сроки схватывания, растекаемость, самоуплотнение

Современная строительная индустрия предполагает целый ряд технологических решений по улучшению качественных характеристик конструкций и материалов [1]. В частности, для снижения энергозатрат и трудоемкости при монолитном бетонировании активно применяются химические модификаторы. Наиболее популярными видами модификаторов для бетона являются суперпластификаторы и ускорители твердения. Первые применяются для снижения трудоемкости рабочего процесса укладки бетонной смеси, улучшения физико-механических свойств, вторые – для сокращения сроков строительства. Известно, что суперпластификаторы увеличивают подвижность бетона, способствуя его сохраняемости, что приводит к увеличению срока схватывания цемента и уменьшению ранней прочности цементного камня. Применение ускорителей дает возможность сократить период твердения бетона, тем самым позволяя ускорить процесс оборачиваемости опалубки [1-3].

Сегодня на рынке строительных материалов все большее внимание уделяется комплексным химическим добавкам для бетона, включающим, как правило, два основных компонента. Данный тип модификаторов позволяет получать бетонные конструкции с уникальными свойствами, отличающиеся универсальностью в рамках современного монолитного домостроения. Особо следует отметить вариант совместного использования суперпластификатора и ускорителя твердения бетона, позволяющего ускорить процесс твердения бетона на ранней стадии набора прочности. Таким образом, происходит компенсация негативного влияния суперпластификатора на раннюю

прочность бетона без потери его положительных свойств. С точки зрения современного бетоноведения, такое предложение удовлетворяет целый ряд требований, предъявляемых к монолитному бетонированию, относительно снижения энергозатрат, ускорения оборачиваемости опалубки, сокращения сроков строительства, долговечности бетонной конструкции.

Комплексные добавки для бетона в России представлены как отечественными, так и иностранными производителями. Лидерами данного сегмента рынка являются компании ОАО «ГК Полипласт», швейцарский концерн Sika, испанский химконцерн Drizogo, немецкий концерн BASF. Следует отметить, что зарубежные компании, помимо добавок на основе нафталинсульфонатов, производят в более значительных объемах наиболее передовые на сегодняшний день добавки на основе поликарбоксилатных эфиров. При адсорбции поликарбоксилата на поверхности цемента возникает отрицательный заряд, в результате чего частицы взаимно отталкиваются и приводят в движение цементный раствор вместе с минеральными заполнителями бетона. Интенсивность и длительность пластифицирующего эффекта поликарбоксилатов выше, чем у обычных суперпластификаторов. Это объясняется наличием большей длины боковых цепей молекул химических добавок на основе поликарбоксилатного эфира. Важно подчеркнуть, что компоненты данной добавки адсорбируются преимущественно на гидросульфатоалюминатах, но дальнейшее фазообразование приводит к практически полному подавлению пластифицирующего действия за счет «перекрывания» зон стерических эффектов [4-5].

Цель работы – исследование пластифицирующих добавок на сроки схватывания цемента.

Решаемая задача: изучение влияния пластифицирующих добавок на основе поликарбоксилатных эфиров, а также ускорителей твердения на некоторые свойства цементных паст.

Моделирование. Введенные в цементную пасту компоненты пластификатора преимущественно адсорбируются на поверхности трехкальциевого алюмината, что негативно сказывается на ранней прочности цементного камня.

Техника эксперимента. В рамках эксперимента нами изучалось влияние содержания суперпластификаторов Glenium-51, Glenium ACE 430, Glenium C 323MIX, ускорителя твердения X-SEED100 компании «BASF» на сроки схватывания и подвижность цементного теста. В качестве вяжущего применялся портландцемент ПЦ500Б Мордовского цементного завода. Добавки вводились в цементное тесто нормальной густотой 0,2975 в диапазоне 0,1-2 % от массы цемента. Для определения сроков схватываемости и нормальной густоты цементного теста применялся прибор Вика.

Интерпретация результатов и их анализ. На рис. 1 представлена зависимость конца схватывания цементного теста в зависимости от вида и количества содержания химических модификаторов в % от массы цемента. При минимальных дозировках суперпластификатора время конца схватывания цементного теста увеличивается на 9-35 мин.; при дозировке добавок в количестве 0,5% от массы цемента – на 205-244 мин.; при дозировке 1,5 % – на 439-498 мин.; при 2% – на 492-534 мин., в сравнении с составом без модификатора.

Результаты исследования показали, что увеличение доли суперпластификаторов на основе поликарбоксилатного эфира Glenium-51, Glenium ACE 430 и Glenium C 323MIX приводит к значительному удлинению сроков схватывания цемента, что не может не сказаться на снижении ранней суточной прочности цементного камня.

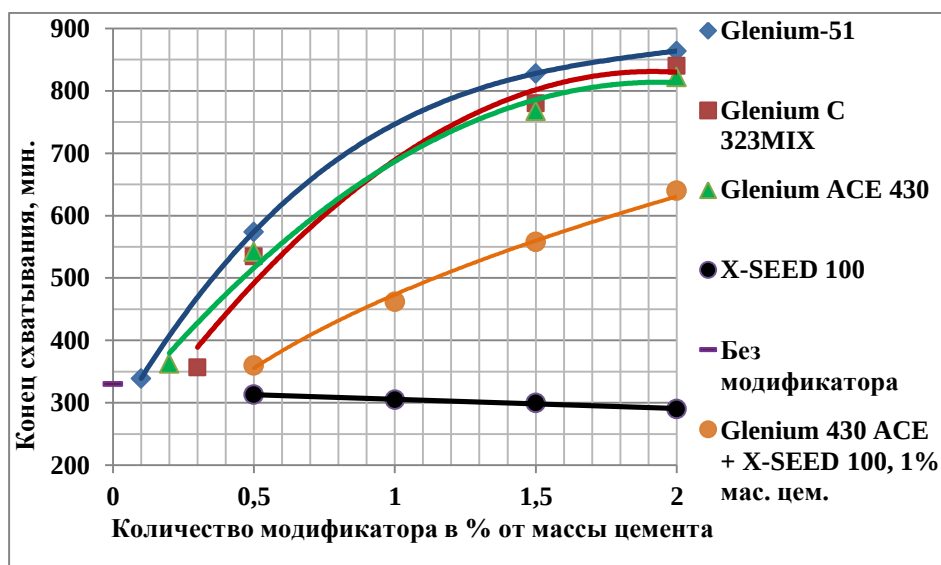


Рис. 1. Влияние содержания химических модификаторов на конец схватывания цементного теста, мин.

Применение ускорителя твердения X-SEED 100 дает возможность сократить период схватывания цементного теста. Увеличение дозировки данного модификатора от 0,5 до 2 % от массы цемента приводит к ускорению конца схватывания на 17-40 мин. соответственно. Зависимость конца схватывания цементного теста от комплексного применения добавок Glenium ACE 430 с дозировкой 0,5-1,5% и ускорителя твердения X-SEED 100 в дозировке 1% от массы цемента соответственно показала сокращение времени схватывания цементного теста на 182-210 мин., в сравнении с таким же суперпластификатором без ускорителя.

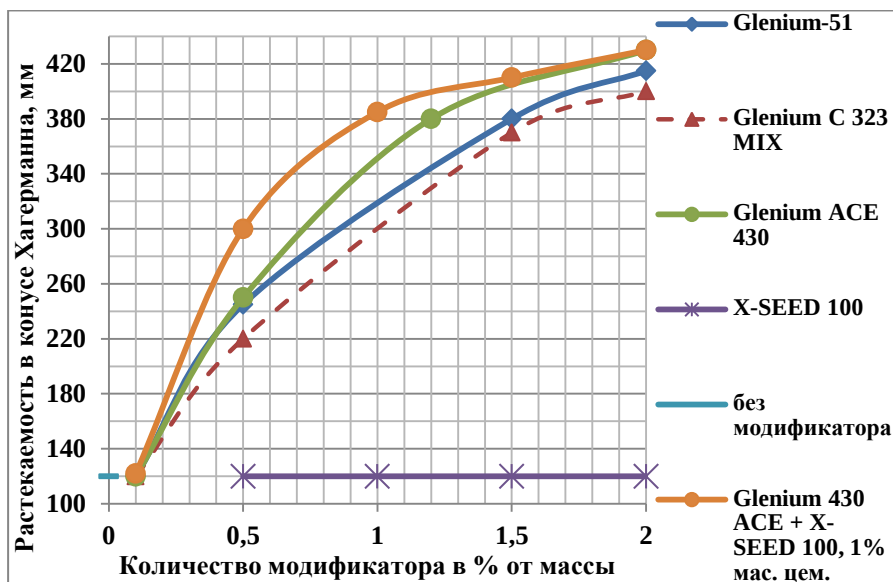


Рис. 2. Влияние содержания химических модификаторов на растекаемость цементного теста, мм

Анализ эксперимента свидетельствует о положительном влиянии комплексного применения суперпластификатора и ускорителя на сокращение периода схватывания цементного теста, что, несомненно, способствует ускорению темпов бетонирования.

Нами рассмотрено влияние содержания химических модификаторов на растекаемость цементного теста (рис. 1, 2). Результаты исследования показали, что ускоритель твердения X-SEED 100 не влияет на подвижность цементного теста, однако его совместное применение с суперпластификатором Glenium ACE 430 приводит к увеличению растекаемости смеси до 16 % при дозировке Glenium ACE 430 0,5% от массы цемента. При содержании Glenium ACE 430 2% от массы цемента его совместное применение с ускорителем не влияет на растекаемость цементного теста. Наибольший рост эффекта пластификации цементного теста наблюдается у составов с содержанием поликарбоксилатных эфиров в диапазоне 0,1-1% от массы цемента. Дальнейшее увеличение количества суперпластификатора приводит к более «плавному» увеличению подвижности цементного теста.

Выводы

1. Применение суперпластификаторов на основе поликарбоксилатных эфиров значительно удлиняет сроки схватывания цемента, сократить которые возможно методом его совместного использования с ускорителем твердения.

2. Комплексное применение суперпластификатора и ускорителя твердения бетона не оказывает отрицательного эффекта на подвижность цементного теста.

Список литературы

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. М.: Стройиздат. 1990. 400 с.
2. Салихов М.Г., Малянова Л.И. Изучение влияния модифицированной добавки на некоторые свойства асфальтобетона с отсевами дробления известняков для покрытий лесовозных дорог // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 1. С. 64-70.
3. Вовк А.И. О некоторых особенностях PCE [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rosbaltgrupa.lv/?id=157&ln=ru> (дата обращения: 11.03.2014).
4. Добшиц Л.М., Кононова О.В., Анисимов С.Н. Модифицированные цементные композиции с кварцевым наполнителем // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6 [Электронный ресурс]. URL: www.science-education.ru/106-7929 (дата обращения: 11.03.2014).
5. Изотов В.С. Химические добавки для модификации бетона. М.: Изд. Палеотип, 2006. 244 с.

THE PLASTICIZING ADDITIVES ON VICAT NEEDLE TEST INFLUENCE

Anisimov Sergey Nikolaevich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The influence of the BASF's Glenium- 51, Glenium ACE 430 and Glenium C 323MIX type polycarboxylate superplasticizers content to the setting time investigated. The X-SEED 100 hardening accelerator addition to the Glenium ACE 430 superplasticizer modified cement pastes reduces the setting period.

Keywords: concrete, cement past, superplasticizer, setting time, flowability, self-compacting

УДК 625.765

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ АНТИГОЛОЛЕДНЫХ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

Веюков Евгений Валерианович, Гилёва Юлия Александровна

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
VeukovEV@volgatech.net

Выполнен расчет экономической эффективности от внедрения щебеночно-мастичных асфальтобетонов с добавками хлористых солей NaCl и CaCl_2 . При расчете рассматривалась федеральная автодорога 1Р-174 «Вятка» км 19+008 – км 87+152 (от Чебоксарской ГЭС до объездной дороги г. Йошкар-Ола), общей протяженностью 68,1 км.

Ключевые слова: антигололедные покрытия, применение хлористых солей, гололед, зимнее содержание дорог

Введение. Работы по повышению антигололедных свойств покрытий автомобильных дорог ведутся с 70-х годов прошлого века. Подобные исследования в нашей стране начали в конце 80-х годов. К настоящему моменту известны следующие материалы покрытий и добавки для них, обладающие антигололедными свойствами [1]:

- «Verglimit» (капсулы хлорида кальция (80 %) и гидроокиси натрия (5 %));
- «Соленый бетон» (обработанные кристаллы противогололедного вещества (NaCl), введенные в минеральную часть асфальтобетона);
- наполнитель «Грикол» (продукт совместного помола хлористых солей (90 %) и гидрофобизатора на основе кремнийорганических продуктов (10 %));
- отход сахарного производства;
- и другие.

Все перечисленные способы не получили широкого распространения в силу ряда объективных причин, в первую очередь, экономических.

Обосновывая свою точку зрения тем, что введение комплексных противогололедных добавок значительно удорожает стоимость покрытия, ученый А.Н. Котухов в работе [2] предложил вводить в асфальтобетон хлористый натрий без всяких добавок, уменьшающих коррозию. Он пришел к выводу, что введение в асфальтобетон 5 % (по массе минеральной части) хлористого натрия обеспечивает уменьшение адгезии льда к поверхности покрытия в 2-3 раза. М. Г. Салихов и Л. И. Маляпова предложили вводить соли NaCl и CaCl_2 или их смеси в состав щебеночно-мастичных асфальтобетонов (ЩМА) [3]. В результате ряда экспериментальных исследований и теоретического анализа они получили оптимальный состав антигололедного ЩМА (АЩМА). Прочность сцепления льда с покрытием из такого состава в 3 раза меньше, чем из классического состава. В данной статье подсчитана экономическая эффективность от внедрения в строительство покрытия федеральной автодороги 1Р-174 «Вятка» км 19+008 – км 87+152.

Цель работы – расчет экономической эффективности внедрения щебеночно-мастичных асфальтобетонов, обладающих пониженной адгезией льда.

Решаемые задачи: 1) скалькулировать стоимость приготовления и укладки антигололедных и классических ЩМА; 2) определить количество гололедных явлений; 3) выполнить анализ дорожно-транспортных происшествий на рассматриваемой авто-

мобильной дороге, вызванных зимней скользкостью покрытий; 4) произвести расчет экономической эффективности.

Расчет экономической эффективности. Поскольку в классический состав ЩМА вводится очень малое количество (0,6 % от всей смеси), при расчетах принимается допущение, что себестоимость приготовления и устройства 1000 м² покрытия из ЩМА и АЩМА примерно одинаковая, т. е. $C_{ЩМА} = C_{АЩМА}$.

При борьбе с зимней скользкостью автомобильной дороги площадью в 1000 м² затраты будут складываться из:

$$C_1 = C_{nc} + C_{распр} + C_{очистки} \quad (1)$$

где C_{nc} – стоимость песко-соляной смеси (ПСС) (затрачиваемой на 1000 м² за одну посыпку); $C_{распр}$ – стоимость распределения ПСС; $C_{очистки}$ – стоимость очистки покрытия, обработанного ПСС (1000 м² покрытия от снежных отложений).

Толщина снежно-ледяных образований в расчетах принята в среднем 2 мм, температура -5 °С. При этом согласно нормативам соли NaCl требуется в количестве 40 г/м², тогда стоимость песко-соляной смеси составит:

$$C_{nc} = \frac{200}{1000} \cdot 628,65 = 125,73 \frac{\text{руб.}}{1000 \text{ м}^2}.$$

Исходя из норм времени [4] и стоимостей машино-часов и человеко-часов получены следующие затраты:

$$C_1 = 125,73 + 104,18 + 37,40 = 267,31 \frac{\text{руб.}}{1000 \text{ м}^2}.$$

При использовании в покрытии АЩМА отпадает необходимость применения ПСС, т. е. $C_{nc} = 0$ и $C_{распр} = 0$. Тогда затраты при использовании АЩМА будут равны стоимости очистки:

$$C_2 = C_{очистки} = 37,40 \frac{\text{руб.}}{1000 \text{ м}^2}.$$

Количество очисток покрытия ото льда назначается с учетом случаев гололедообразования за год. Для Республики Марий Эл число таких случаев за 2014 год $n = 35$ [5]. При пересчете на 1 км автомобильной дороги экономия за счет снижения количества посыпок:

$$\Delta C = 1000 \cdot \frac{8}{1000} \cdot 35 \cdot (267,31 - 37,40) = 64\,374,80 \frac{\text{руб.}}{\text{км}}.$$

Затраты от ДТП определены по следующей формуле:

$$C_{ДТП} = \frac{n_{ДТП} \times C_{1ДТП}^{ср}}{L}, \quad (2)$$

где $n_{ДТП}$ – количество ДТП, произошедших из-за сниженных сцепных качеств покрытия дороги (т.е. гололед или накат); $C_{1ДТП}^{ср}$ – средние потери от одного отчетного ДТП.

$$C_{ДТП} = \frac{8 \times 54\,210}{68,1} = 6\,368,28 \frac{\text{руб.}}{\text{км}}.$$

Выводы

1. По результатам выполненных расчетов можно сделать вывод о высокой экономической эффективности предлагаемого способа повышения противогололедных свойств покрытий автомобильных дорог.

2. С целью повышения эффективности применения разработанного материала для устройства верхнего слоя покрытий, обладающих противогололедными свойствами, целесообразно его использование преимущественно на опасных участках с частым образованием снежно-ледяных отложений и других сложных в зимней эксплуатации участках.

3. Экономический эффект от внедрения покрытий из антигололедных ЦМА составил: за счет снижения количества посыпок – 64,3 тыс. руб./км; за счет снижения количества ДТП – 6,4 тыс. руб./км. Общий эффект: $64,3 + 6,4 = 70,7$ тыс. руб./км.

4. Методика расчета не учитывает экономии от снижающегося коррозионного воздействия хлоридов на металлические части автомобилей и дорожных сооружений, а также не поддается учету улучшения экологической обстановки придорожной полосы.

Список литературы

1. Борисюк Н.В. Зимнее содержание городских дорог: учеб. пособие. М.: МАДИ (ГТУ), 2006. 115 с.
2. Котухов А.Н. Антигололедный асфальтобетон для дорожного строительства: дис. ... канд. техн. наук. Белгород: БГТУ им. Шухова, 2003. 198 с.
3. Салихов М.Г., Исаев А.В. Стойкость щебеночно-мастичных асфальтобетонов с противоморозными добавками // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 1(8). С. 53-58.
4. ГЭСН 81-02-27-2001. Сборник №27. Автомобильные дороги / Госстрой РФ. М.: Стройиздат, 2001. 120 с.
5. СНиП 23-01-99*. Строительная климатология / Госстрой РФ. М.: Стройиздат, 2000. 67 с.

ECONOMIC EFFICIENCY OF INTRODUCTION DEICING CRUSHED-STONE AND MASTIC ASPHALT CONCRETE

Veyukov Evgeny Valerianovich, Gilyova Yulia Aleksandrovna

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Calculation of economic efficiency from introduction of crushed-stone and mastic asphalt concrete with additives of chloride NaCl and CaCl₂ salts is executed. At calculation the federal highway 1P-174 «Вятка» by km 19+008 – km 87+152 (from Cheboksary hydroelectric power station to a bypass road Yoshkar Ola), with a general extent of 68,1 km was considered.

Keywords: *deicing coverings, use of chloride salts, ice, winter maintenance of roads*

УДК 624.07

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СБОРНО-МОНОЛИТНОГО РИГЕЛЯ КАРКАСНОЙ СИСТЕМЫ ООО «ЦЕНТР МКС»

*Винтина Анна Анатольевна, Лазарев Алексей Игоревич,
Поздеев Виктор Михайлович, Средин Александр Владимирович*

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
kskio@volgatech.net

Представлено новое конструктивное решение железобетонного ригеля для сборно-монолитного каркаса зданий, разработанное ООО «Центр МКС». Балка армируется предварительно напрягаемой арматурной проволокой Вр-1400, что позволяет изготавливать ее на стендах непрерывного формования. Предложена методика испытания неразрезного сборно-монолитного ригеля в два этапа: пролетной и опорной частей по отдельности. Представлены результаты и анализ экспериментальных исследований ригеля и фрагмента каркаса здания.

Ключевые слова: сборно-монолитный каркас здания, сборно-монолитный ригель, технология непрерывного формования изделий, испытание нагружением, фрагмент каркаса здания, несущая способность, вертикальные перемещения

Введение. На современном этапе в практике строительства многоэтажных гражданских зданий значительные объемы приходится на сборно-монолитные каркасные системы, конструктивные решения которых постоянно совершенствуются. Первоначальная версия серии «Сарет» (SCOP PPB) [1] возводится с различными вариантами настила: из сборных предварительно напряженных плит толщиной 50 мм с последующей заливкой перекрытия и созданием сплошной плиты и из сборных многопустотных плит. Во втором варианте существенно сокращается объем монолитного бетона. Высокой технологичностью отличается каркас «Казань – XXI век», разработанный И.И. Мустафиным (КазГАСУ) [2]. Изготовление сборных ригелей в ненапряженном варианте и применение колонн различного поперечного сечения (прямоугольного, уголкового) позволяют расширить типологию возводимых зданий. Развивается и направление совершенствования конструктивных решений каркасов со «скрытыми» ригелями [3, 4].

Новое направление появилось с внедрением технологии безопалубочного формования железобетонных конструкций на заводах стройиндустрии [5]. Саратовской фирмой «ИМТОС» разработана конструкция сборного ригеля корытообразного сечения, изготавливаемого в предварительно напряженном варианте продольных стержней из проволоки ВР1400. Установка поперечной арматуры производится в полую часть ригеля на строительной площадке. В этом случае повышается доля монолитных работ.

В ООО «Центр МКС» (г. Йошкар-Ола) предложен ригель со сплошной сборной частью сечения, но армированный проволоочной арматурой [6]. Ригель предлагается изготавливать на стендах непрерывного формования, но без использования формовочных машин, так как поперечная арматура устанавливается перед бетонированием.

Разработанное конструктивное решение было внедрено на предприятии ООО «Нижегородский Дом и К» в г. Нижнем Новгороде. Предварительно с участием ПГТУ были проведены натурные испытания сборно-монолитного ригеля и фрагмента каркаса.

Цель работы – экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния сборно-монолитного ригеля с предварительно напряженной арматурой из проволоки Вр-1400 с оценкой работоспособности конструкции в системе каркаса.

Решаемые задачи: 1) разработка методики поэтапного испытания сборно-монолитного ригеля и фрагмента каркаса; 2) проведение испытания нагружением; 3) определение и анализ основных показателей экспериментальной конструкции по прочности и деформативности.

Аналитическое моделирование. Для численной оценки напряженно-деформированного состояния ригеля и фрагмента каркаса был выполнен расчет МКЭ в программном комплексе Лира 9.6. R9 [7, 8].

Техника эксперимента. Сборно-монолитный ригель в системе каркаса работает по неразрезной схеме. Испытание такой конструкции является достаточно трудоемкой задачей. Была разработана поэтапная схема испытания: по отдельности испытывались пролетная и опорная часть ригеля. Пролетная часть была изготовлена в сборном варианте. Испытание проводилось по схеме однопролетной балки на действие двух сосредоточенных сил, приложенных в третях пролета. Расчет нагрузок по прочности жесткости и трещиностойкости проводился по ГОСТ 8829-94 [9].

На втором этапе проведено испытание нагружением опорной части ригеля. В данном случае образец изготавливался как сборно-монолитная конструкция. К части колонны устанавливались два фрагмента сборных ригелей. После установки надопорной арматуры из $3\varnothing 14$ А400 бетонировалась монолитная часть ригелей. Испытание проводилось по двухконсольной схеме двумя силами на расстоянии 900 мм от оси колонны.

Для оценки НДС ригеля в составе перекрытия на площадках предприятия ООО «Нижегородский Дом и К» в ноябре 2013 года был смонтирован фрагмент каркаса с жесткими монолитными стыками. Конструкция состояла из двух ячеек с размерами в плане по осям $7,2 \times 6,3$ м и $3,6 \times 6,3$ м. Каркас состоял из 9 колонн сечением 300×300 мм. Колонны поверху объединялись ригелями с размерами $300 \times 250(h)$. После укладки на ригели многпустотных плит перекрытия верхняя часть ригелей замоноличивались бетоном В30. Сечение ригелей с учетом монолитной части – $300 \times 470(h)$ мм. Армирование конструктивных элементов было выполнено под расчетную нагрузку $7,2$ кПа. Загружение проводилось бетонными блоками весом $0,60$ т (6 кН). Схема загрузки показана на рис. 1.

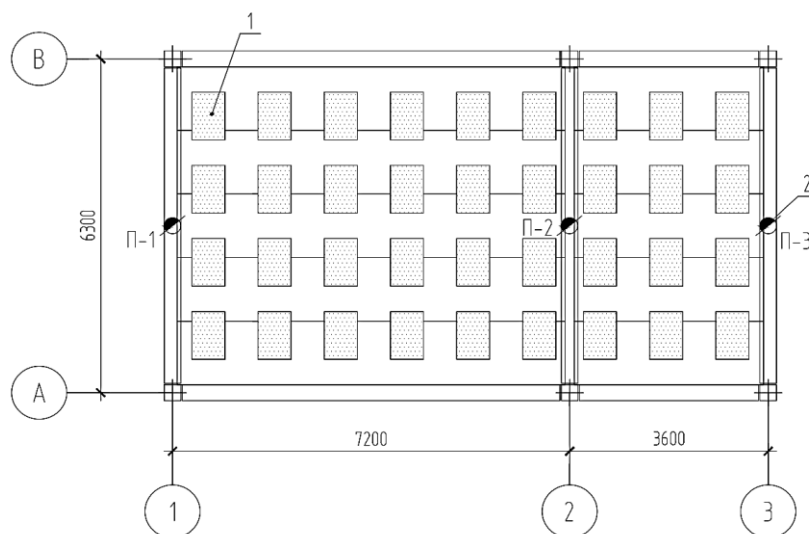


Рис. 1. Схема испытания фрагмента каркаса

Анализ результатов. По полученным данным проведена оценка напряженно-деформированного состояния испытанных конструкций и ячейки каркаса.

Испытываемый образец пролетной части ригеля был загружен до контрольной нагрузки по прочности при $C=1,6$ равной 7450 кгс. На графике прогибов центра балки (рис. 2). Видны характерные этапы деформирования: до и после образования трещин. Ригель соответствовал требованиям по прочности, жесткости и трещиностойкости.

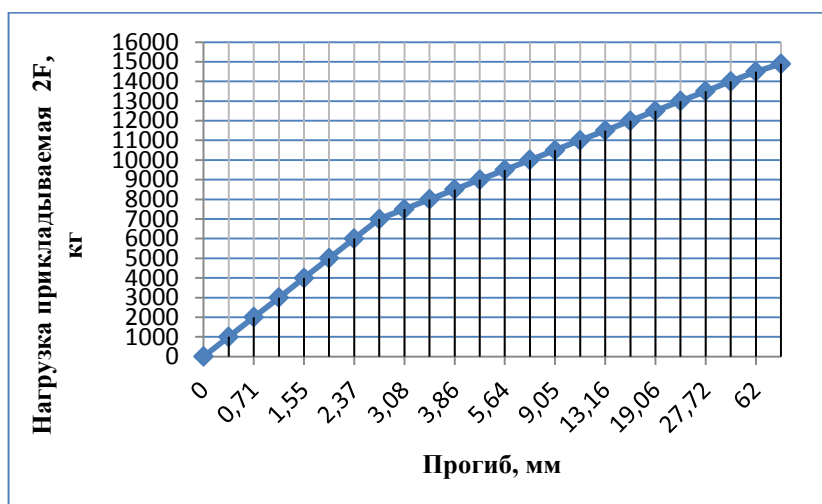


Рис. 2. График прогиба пролетной части ригеля при испытании

Опорный узел был загружен нагрузкой $F=10500$ кгс, что превысило значение контрольной прикладываемой нагрузки по проверке прочности при $C=1,3$ равной 9086 кгс. При этом присутствовали признаки разрушения конструкции. Узел выдержал испытание по прочности. На графике зависимости «нагрузка – прогиб концов балок» (рис. 3) определены характерные этапы работы узла: до образования трещин (нагрузка 3000 кгс) и после образования трещин (изменение наклона графика).

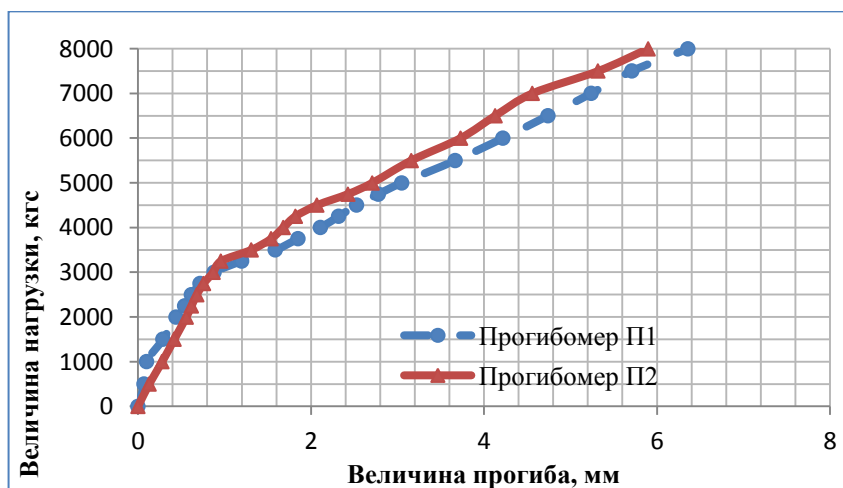


Рис. 3. Графики прогибов балок опорной части ригеля при испытании

Методика испытания опытного фрагмента каркаса предусматривала поэтапное нагружение перекрытия вертикальной нагрузкой до уровня, соответствующего рас-

четному значению проектной нагрузки. Блоки устанавливали только на многопустотные плиты через деревянные подкладки. Нагружение ригелей происходило вследствие передачи на них усилий от многопустотных плит перекрытия. В результате испытаний было проведено 12 этапов загрузки каркаса. Общее число блоков, установленных на перекрытие, – 92 шт. с суммарный весом 55,2 т. Общая равномерно-распределенная нагрузка на 12 этапе составляла 8,12 кПа. Согласно методике испытаний, первые трещины должны были появиться при нагрузке 6,6 кПа, по факту моментом трещинообразования можно считать 10 этап с нагрузкой 7,1 кПа. Прогиб наиболее нагруженного ригеля на 12 этапе составил 2,1 мм. Общий вид испытания показан на рис. 4, графики прогибов – на рис. 5.



Рис. 4. Общий вид испытания фрагмента каркаса

Наиболее нагруженный центральный ригель, армированный предварительно-напряженной проволокой Вр1400, полностью соответствовал требованиям по жесткости и трещиностойкости.

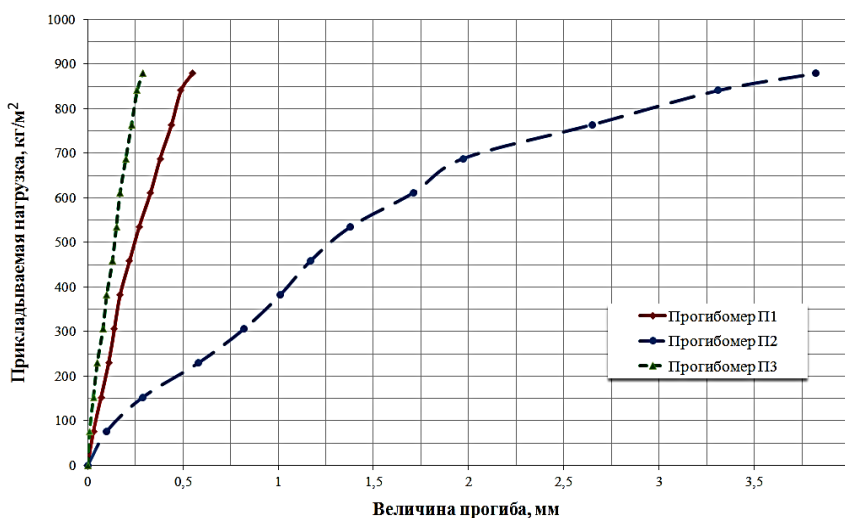


Рис. 5. Графики прогибов ригелей фрагмента каркаса

Выводы

В рамках совершенствования конструктивных решений сборно-монолитных каркасов разработана конструкция сборно-монолитного ригеля, армированного предварительно напряжённой проволоочной арматурой, для изготовления на стендах непрерывного формования. Проведенные контрольные испытания конструкции по двухэтапной методике (отдельно пролетной и опорной частей) показали, что ригель соответствует требованиям по прочности, жесткости и трещиностойкости.

Результаты испытаний нагружением статической нагрузкой натурального фрагмента сборно-монолитного каркаса подтвердили, что ригель обладает необходимыми показателями по жесткости и трещиностойкости.

Список литературы

1. Проектирование железобетонных сборно-монолитных конструкций (справочное пособие к СНиП 2.03.01-84) / НИИЖБ. М.: Стройиздат, 1991. 68 с.
2. Пат. 2281362 Российская Федерация, МПК В04В1/20. Сборно-монолитный железобетонный каркас многоэтажного здания «Казань-XXI век» / Мустафин И.И.; заявитель и патентообладатель Мустафин И.И. Заявл. 27.12.2004; опубл. 10.08.2006. 3 с.
3. Гуров Е.П. Анализ и предложения по конструктивной надежности и безопасности сборно-монолитных перекрытий в каркасе серии Б1.020.1-7 (в системе «АРКОС») // Бетон и железобетон. 2012. № 2. С. 6-10.
4. Гуров Е.П. Анализ и предложения по конструктивной надежности и безопасности сборно-монолитных перекрытий в каркасе серии Б1.020.1-7 (в системе «АРКОС»). Окончание // Бетон и железобетон. 2012. № 5. С. 16-17.
5. Копша С.П., Заикин В.А. Технология безопалубочного формования – ключ к модернизации промышленности и снижению себестоимости жилья // Технологии бетонов. 2013. № 11. С. 29-33.
6. Лазарев А.И., Лазарев И.А., Средин А.В., Титов А.Н. Сборно-монолитный железобетонный ригель каркаса здания, сооружения // Патент России №138674. 2014. Бюл. №8.
7. Заикин В.Г., Валуйских В.П. Регулирование усилий в неразрезных конструкциях в составе комплексного расчета ПК ЛИРА // Бетон и железобетон. 2011. № 6. С. 13-15.
8. Вайнштейн Е.В., Вайнштейн В.М., Нехорошков П.А. Исследование напряженно-деформированного состояния дорожной одежды лесовозной автодороги по касательным напряжениям методом конечных элементов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2012. № 1 (15). С. 64-73.
9. ГОСТ 8829-94. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости / НИИЖБ Российской Федерации. М.: МНТКС, Госстрой России. 34 с.

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE PRECAST-MONOLITHIC BEAM
FRAMING SYSTEMS «CENTER MFB»**

***Vintina Anna Anatolevna, Lazarev Alexei Igorevich, Pozdeev Victor Mihajlovich,
Sredin Alexander Vladimirovich***

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Presented new design of reinforced concrete beams for prefabricated monolithic frame buildings, designed the «Centre MFB». Beam reinforced with prestressed reinforcement wire Vr-1400, allowing it to produce stands continuous molding. A method for testing continuous over prefabricated reinforced bolts in two stages: the transit and supporting parts separately. Presents the results and analysis of experimental studies beam and a fragment of the building framework.

Keywords: *precast-monolithic frame building, precast-monolithic beam, continuous molding technology products, test loading, fragment building frame, load-bearing capacity, vertical displacement*

УДК 624.012

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПУСТОТЕЛЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН ДЛЯ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ КАРКАСНЫХ СИСТЕМ

Зими́на Ксе́ния Влади́мировна, По́здеев Ви́ктор Миха́йлович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
kskio@volgatech.net

Представлено новое конструктивное решение железобетонных колонн для сборно-монолитного каркаса зданий. Колонны верхних этажей предлагается выполнять пустотелыми. Представлены результаты и анализ экспериментальных исследований колонн. Дано технико-экономическое обоснование посредством сравнения полнотелой колонны и колонны с продольной пустотой на всю высоту конструкции.

Ключевые слова: *сборно-монолитный каркас здания, колонна с продольной пустотой, штепсельный стык, испытание нагружением, трудоемкость изготовления колонн, стоимость колонн*

Введение. Для железобетонных каркасов одноэтажных и многоэтажных зданий в основном применяются колонны прямоугольного сплошного сечения. В многоэтажных зданиях колонны верхних этажей часто выполняются меньшего сечения, чем колонны нижних этажей. Однако такое решение несколько меняет планировочные показатели верхних этажей, существенно уменьшается изгибная жесткость колонн при возрастании значений ветровых нагрузок.

Одним из направлений совершенствования конструкций каркасов может явиться применение пустотелых колонн, что позволит сохранить постоянный размер сечений по высоте и в то же время снизить расход бетона до 30%. В конструкциях устраивается продольная пустота круглого сечения с размером, позволяющим сохранить необходимые защитные слои для арматурного каркаса. Такие решения предлагались для колонн одноэтажных зданий [1]. При изготовлении конструкций для создания полости можно использовать металлические или картонные и пластиковые пустотообразователи.

В настоящей работе предложено конструктивное решение сборно-монолитного железобетонного каркаса многоэтажного здания на основе известного решения SCOP PPB [2], включающего сборные железобетонные колонны с разрывами бетона в уровне перекрытий, сборные предварительно напряженные ригели и многпустотные плиты. Железобетонные колонны, выполняемые на два-три этажа, имеют продольную пустоту круглого сечения по всей высоте элемента. В сборно-монолитных каркасах колонны по высоте соединяются при помощи штепсельного стыка. В работах [3, 4] авторами предложен вариант штепсельного соединения колонн, в котором благодаря конусному выступу в оголовке нижней колонны облегчается центровка при монтаже верхней пустотелой колонны. Эффективность конструктивного решения каркаса достигается тем, что колонны нижнего яруса – полнотелые и имеют простую прямоугольную форму поперечного сечения, а менее нагруженные колонны верхнего яруса – пустотелые с продольной пустотой, с сохранением одинаковых габаритных размеров колонн по высоте. Расход бетона в колоннах верхних этажей уменьшается на 10-30%.

При этом изгибная жесткость элементов на действие изгибающих моментов от горизонтальных нагрузок изменяется незначительно.

Цель работы – экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния пустотелых сжатых элементов и выполнение технико-экономической оценки предлагаемого конструктивного решения колонн.

Решаемые задачи: 1) разработка методики и проведение испытания моделей сжатых пустотелых элементов; 2) расчет элементов по нелинейной деформационной модели; 3) определение экономической эффективности предложенной конструкции.

Аналитическое моделирование. Для численной оценки напряженно-деформированного состояния пустотелых элементов была применена нелинейная деформационная модель расчета железобетонных элементов [5]. Оценка экономической эффективности осуществлялась по расчету трудоемкости изготовления конструкций.

Техника эксперимента. Для выявления эффективности применения пустотелых конструкций было проведено испытание фрагментов моделей сплошной и пустотелой колонн. Модели имели сечение 100×100 мм, высоту 400 мм. Кубиковая прочность бетона равна 142 кгс/см^2 . Армирование выполнялось продольной арматурой из 4-х стержней $\varnothing 6$ мм класса А400. Хомуты из проволоки $\varnothing 3$ мм Вр500 устанавливались с шагом 90 мм. В пустотелом образце имела продольная пустота диаметром 45 мм.

Образцы испытывались на внецентренное сжатие с эксцентриситетом 30 мм от центра. При испытании фиксировалась величина продольных деформаций бетона по граням образцов.

С первого этапа загрузки на грани образца со стороны приложения силы фиксировались деформации сжатия, а на противоположной грани – деформации растяжения. Графики продольных деформаций обеих серий образцов представлены на рис. 1. Характер разрушения сплошных и пустотелых образцов был аналогичен: на сжатой грани появлялись горизонтальные трещины от сжатия бетона, у оголовка образцов со стороны сжатой грани появлялись горизонтальные и наклонные трещины. Средняя разрушающая нагрузка для образцов со сплошным сечением – 9,75 тс, для образцов с продольной пустотой – 8,94 тс. Разница в несущей способности 8%. При разрушении относительные деформации бетона на сжатой грани достигали значений 0,003 – 0,0035.

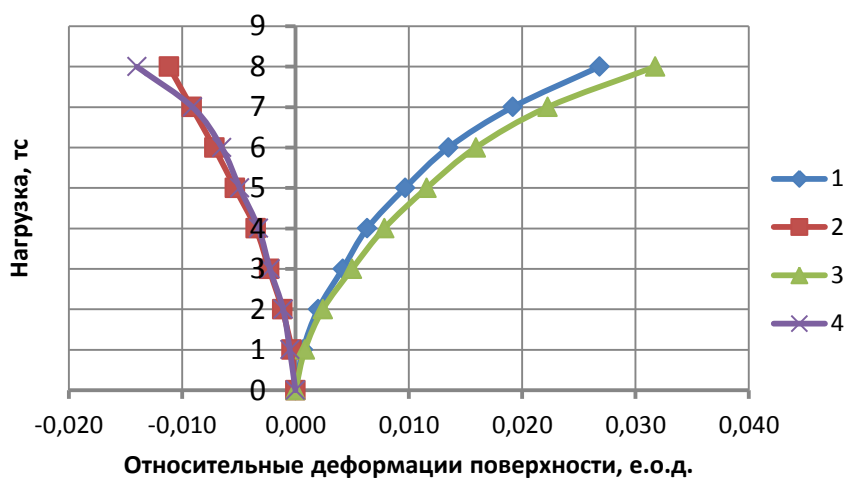


Рис. 1. Деформации на сжатой и растянутой гранях сплошной и пустотелой модели колонны при внецентренном сжатии: 1 – сплошной образец, сжатие; 2 – сплошной образец, растяжение; 3 – пустотелый образец, сжатие; 4 – пустотелый образец, растяжение

Анализ результатов. По полученным данным проведена оценка напряженно-деформированного состояния испытанных моделей.

Выполнен расчет испытанных образцов по методике СНиП 52-01-2003 методом предельных усилий и по деформационной модели. В последнем случае график деформирования бетона принимался в виде двухлинейного. Разница между полученными экспериментальными данными по прочности для полнотелого образца с расчетом по предельным усилиям составляет 12,3%, с расчетом по диаграммному методу – 16,3%.

Для принятых размеров моделей выполнены расчеты прочности при различных эксцентриситетах. Данные представлены на рис. 2. Естественно, при центральном сжатии прочность пустотелого образца ниже, но с увеличением эксцентриситета прочность конструкций уравнивается.

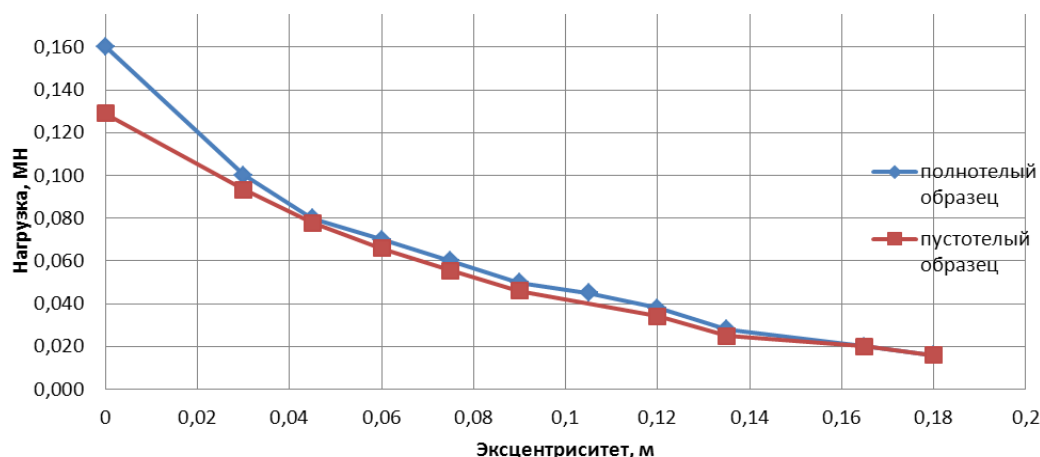


Рис. 2. Зависимость вертикальной нагрузки от эксцентриситета для сплошной и пустотелой моделей колонн

Проведенные испытания моделей пустотных колонн подтвердили их техническую эффективность.

Для экономического анализа разработанного решения проведено сравнение с полнотелой колонной по критериям стоимости и трудоемкости заводского изготовления. Проводилось сравнение конструкций с аналогичными характеристиками.

Полнотелая колонна сечением 400×400 мм, длиной 3300 мм – расход бетона 0,528 м³. Пустотелая колонна сечением 400×400 мм, длиной 3300 мм и продольной пустотой Ø230 мм – расход бетона 0,391 м³. Бетон тяжелый В20. Рабочая арматура класса А-400.

Стоимость элементов определена суммированием стоимости составляющих материалов со стоимостью технологических процессов заводского изготовления с учетом рекомендаций [6]. Для расчета принимались средние значения цен региона по [7].

Стоимость и трудоемкость процессов монтажа выполнены на основе разницы сравнения операций рассматриваемых вариантов. Трудоемкость работ определялась по [8].

Согласно «Единым нормам времени и расценкам на изготовление железобетонных изделий и конструкций», выпуск II. Арматурные работы [8]:

Правка и резка арматурной стали на приводных станках. Состав работы: Установка упора на заданный размер резки. Извлечение стержней из пачки и укладка на рольганг. Выравнивание концов стержней. Отрезка стержней. Укладка стержней в

контейнер. Необходимо 2 рабочих арматурщика 2-го разряда. Нормы времени и расценки на 1 т нарезанной стали – 1 час. Гнутье арматурной стали. Состав работы: Разметка места отгибов стержней. Гибка стержней по заданной конфигурации. Укладка стержней на стеллаж или контейнер. Необходим 1 рабочий арматурщик 3 разряда. Нормы времени и расценки на 1 тонну арматуры – 2,2 час. Сварка арматурных сеток и плоских каркасов. Состав работы: Взять продольные и поперечные стержни. Разметка места пересечений. Сверка сетки или каркаса в местах пересечений стержней с переворачиванием и перемещением изделия в процессе сварки. Укладка сваренного изделия в контейнер. Необходим сварщик арматурных сеток и каркасов 3 разряда – 1 человек. Нормы времени и расценки на 100 сеток – 2,8 час. Изготовление пространственных арматурных каркасов. Состав работы: Разметка места расположения и укладка в кондуктор сетки, плоского каркаса и стержня. Сварка каркаса, снятие с кондуктора и укладка в штабель. Арматурщик 5 разряда – 1 человек. Нормы времени и расценки на 1 т каркасов – 7,8 час.

Согласно «Единым нормам времени и расценкам на изготовление железобетонных изделий и конструкций», выпуск I. Формовка изделий [8]:

Колонны прямоугольного сечения. Изготовление железобетонных колонн прямоугольного сечения. Формовщик 4 разряда, 3 разряда – 2 человека. Нормы времени на 10 м³ железобетона – 22 часа. Состав работ: 1) Правка и резка арматурной стали; 2) Гнутье арматурной стали; 3) Сварка арматурных сеток и плоских каркасов; 4) Изготовление пространственных арматурных каркасов; 5) изготовление железобетонных колонн прямоугольного сечения. Трудоемкость изготовления 1 конструкции 2,79 чел.-час. Заработная плата 1 чел.-час – 133,8 руб. (Средний разряд 4). Итоговые данные приведены в таблице 1.

Колонны пустотелого сечения. Изготовление железобетонных колонн пустотелого сечения. Формовщик 4 разряда, 3 разряда – 2 человека. Нормы времени на 10 м³ железобетона – 22 часа. Состав работ: 1) Правка и резка арматурной стали; 2) Гнутье арматурной стали; 3) Сварка арматурных сеток и плоских каркасов; 4) Изготовление пространственных арматурных каркасов; 5) Установка пустотообразователя; 6) изготовление железобетонных колонн прямоугольного сечения. Трудоемкость изготовления 1 конструкции 2,49 чел.-час. Заработная плата 1 чел.-час – 133,8 руб. (Средний разряд 4). Итоговые данные приведены в таблице.

Сводная калькуляция на изготовление колонны

Наименование статей затрат	Единицы измерения	Сплошная колонна сумма, руб.	Пустотелая колонна сумма, руб.
Заработная плата	руб.	373,3	333,16
Накладные расходы 122%	руб.	428	382
Плановые накопления 80%	руб.	299	267
Стоимость материалов			
Арматура 2Ø22 А400	т	1220	1220
Арматура Ø14,16,20	т	900	900
Труба ПВХ Ø230 мм – 3000 мм	штук	-	650
Бетон В20	м ³	3357	2486
Итого материалы без НДС	руб.	5477	5256
Итого		6577	5587

Стоимость изготовления пустотелых колонн дешевле объекта сравнения на 15%.

Выводы

1. Предложено направление по совершенствованию сборно-монолитных каркасных систем для строительства многоэтажных зданий. Изготовление пустотелых ригелей, колонн верхних этажей приведет к экономии бетона и арматуры.
2. Проведенные испытания моделей колонн сплошного и пустотелого сечения на внецентренное сжатие показали, что при принятом эксцентриситете загрузки поведение образцов под нагрузкой практически одинаково.
3. Анализ экономических данных для колонны сечением 400×400 мм показал, что трудоемкость пустотелых железобетонных колонн в условиях производственного цеха ниже на 11%, стоимость изготовления меньше на 15%.

Список литературы

1. Кудзис А.П. Железобетонные и каменные конструкции: учеб. для строит. спец. вузов. В 2-х частях. Ч.2. Конструкции гражданских и промышленных зданий и сооружений. М.: Высшая школа, 1988. 264 с.
2. Проектирование железобетонных сборно-монолитных конструкций (справочное пособие к СНиП 2.03.01-84) / НИИЖБ. М.: Стройиздат, 1991. 8 с.
3. Поздеев В.М., Зими́на К.В. Совершенствование конструктивных решений сборно-монолитных каркасов многоэтажных зданий // Современные проблемы расчета и проектирования железобетонных конструкций многоэтажных зданий: сб. докл. междунар. научн. конф., посвящ. 100-летию П.Ф. Дроздова. М.: МГСУ, 2013. С. 180–187.
4. Поздеев В.М., Зими́на К.В. Совершенствование конструктивных решений сборно-монолитных каркасов // Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов: мат-лы междунар. науч.-прак. конф. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. С. 175–178.
5. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 / НИИЖБ им. А.А. Гвоздева. М: Минрегион России, 2012. 156 с.
6. Емадаков Р.Ю. Методологические подходы к классификации видов экономической конкуренции // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Экономика и управление. 2013. № 1 (17). С. 27–39.
7. Информационно-аналитический бюллетень по вопросам ценообразования в строительстве Республики Марий Эл / Мин-во АиЖКХ РМЭ. Йошкар-Ола, 2013. 87 с.
8. Единые нормы времени и расценки на изготовление железобетонных изделий и конструкций. Выпуск I. Формовка изделий; Выпуск II. Арматурные работы. М., 1990.

FEASIBILITY STUDY OF APPLY HOLLOW REINFORSED CONCRETE COLUMNS FOR THE PRECAST-MONOLITHIC BEAM FRAMING SYSTEMS

Zimina Kceniya Vladimirovna, Pozdееv Victor Mihajlovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Presented new design of reinforced concrete columns for prefabricated monolithic frame buildings. Columns of the upper floors, to undertake the hollow. The results of experimental studies and analysis columns. Given the feasibility study by comparing the full-bodied columns and columns with longitudinal void the entire height of the structure.

Keywords: *precast -monolithic building frame, the column longitudinal void butt plug, loading test, the complexity of manufacturing the columns, the value columns*

УДК 666.94

ГИДРАТАЦИЯ ЦЕМЕНТА В НАПОЛНЕННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ ПАСТАХ**Кононова Ольга Витальевна**

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
kononovaov@volgatech.net

Выполнены теоретические и экспериментальные исследования степени гидратации цемента при длительном твердении в воде цементных паст с кварцевым наполнителем. Установлено, что даже при использовании цемента с удельной поверхностью 600 м²/кг через 24 года процесс гидратации цемента не завершен.

Ключевые слова: цемент, гидратация, твердение, удельная поверхность, кварцевый наполнитель

В практике современного строительства находят применение цементы с минеральными добавками различной природы и активности. Рациональное применение минеральных добавок в цементах направлено на экономию цемента, повышение долговечности бетонов и растворных смесей на их основе и способствует комплексному использованию местных минеральных ресурсов [1, 4].

Формирование прочности цементного камня происходит в процессе роста степени гидратации цемента. В цементных пастах без наполнителя известными технологическими приемами, направленными на повышение плотности, можно получить высокую прочность цементного камня и при низкой степени гидратации цемента. Так, установлено, что требуется небольшое количество гидрата для того, чтобы скрепить вместе зерна ангидритных соединений [7]. В связи с тем, что формирование прочности паст на основе цементов с минеральными наполнителями обеспечивается процессами гидратации частиц цемента, окружающих частицы наполнителя, влияние степени гидратации на их прочность возрастает. Опыт исследования кинетики твердения цементов с минеральными добавками показывает также, что они отличаются замедленным нарастанием прочности в ранние сроки [2]. Так как повышение удельной поверхности цемента активизирует процессы гидратации на начальной стадии, актуальны исследования, направленные на оптимизацию удельной поверхности компонентов наполненного вяжущего. Таким образом, участие наполнителей в структурообразовании цементного камня и бетона необходимо изучать в широком диапазоне варьирования удельной поверхности компонентов вяжущего.

Цель работы – определение условий, при которых повышение степени гидратации цемента при твердении наполненных цементных композиций обеспечивает не только рост прочности, но и получение долговечных цементных композиций.

Решаемая задача: оценка влияния удельной поверхности цемента и кварцевого наполнителя на гидратацию цемента и структурообразование наполненного цементного камня.

Моделирование. Цементная паста с кварцевым наполнителем образует высококонцентрированную дисперсную систему с развитой поверхностью раздела между отдельными компонентами [5]. Гидратация и твердение наполненных цементных паст сопровождается объемными деформациями усадки.

Техника эксперимента. Выполнялись теоретические исследования влияния удельной поверхности ($300 \dots 500 \text{ м}^2/\text{кг}$) и минералогического состава цемента на кинетику степени его гидратации при твердении паст в нормальных условиях в период до 28 суток. Сопоставлялась степень гидратации цементных паст при постоянном водоцементном отношении 0,3.

Экспериментально исследовалось влияние удельной поверхности цемента и кварцевого наполнителя на кинетику степени гидратации наполненных цементных паст. Для экспериментальных исследований применялся бездобавочный портландцемент, полученный помолот клинкера ЗАО «Ульяновскцемент» до удельной поверхности $200 \dots 600 \text{ м}^2/\text{кг}$. Портландцемент имел следующий минералогический состав: $\text{C}_3\text{S} = 59 \%$, $\text{C}_2\text{S} = 16\%$, $\text{C}_3\text{A} = 8 \%$, $\text{C}_4\text{AF} = 13 \%$. В качестве минерального наполнителя применялся кварцевый наполнитель с удельной поверхностью $100 \dots 900 \text{ м}^2/\text{кг}$. С целью повышения степени гидратации цемента и интенсификации процесса перемешивания наполненные цементные пасты, соответствующие по консистенции нормальной густоте цемента (НГ) и (НГ+3...6) %, приготавливали способом виброперемешивания. Образцы были заформованы вибрацией по методике ГОСТ 310.4. Степень гидратации цементных паст, содержащих 50 % кварцевого наполнителя определялась после тепловлажностной обработки по режиму 2+8+2 ч с температурой изотермического прогрева 85°C . Аналогично были приготовлены образцы наполненных цементных паст размером $40 \times 40 \times 160 \text{ мм}$, структурообразование и степень их гидратации оценивалась после длительного твердения в непроточной воде при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Для оценки фазового состава цементного камня и цемента проводился количественный рентгенографический анализ наполненных цементных паст со степенью наполнения кварцевым наполнителем 50 %. Оценка степени гидратации цемента в пробах, содержащих равное количество клинкера, выполнялась по снижению интенсивности дифракционных максимумов, характерных для клинкерных минералов.

Интерпретация результатов и их анализ. В табл. 1 приведены результаты теоретических исследований степени гидратации клинкерных минералов в нормальных условиях твердения в зависимости от периода их твердения.

Таблица 1

Изменение степени гидратации цемента при твердении в нормальных условиях

№ п/п	Минералогический состав цемента, %	Удельная поверхность цемента, $\text{м}^2/\text{кг}$	В/Ц	Степень гидратации цемента, %			
				Время твердения, сут.			
				1	3	7	28
1	$\text{C}_3\text{S}=64\%, \text{C}_2\text{S}=12,4\%$ $\text{C}_3\text{A}=7,7\%, \text{C}_4\text{AF}=14,9$	300	0,3	18	40	-	57
2	$\text{C}_3\text{S}=4\%, \text{C}_2\text{S}=73,3\%$ $\text{C}_3\text{A}=7,7\%, \text{C}_4\text{AF}=15,0$	300	0,3	10	18	-	30
3	$\text{C}_3\text{S}=61\%, \text{C}_2\text{S}=15\%$ $\text{C}_3\text{A}=8\%, \text{C}_4\text{AF}=15 \%$	300	0,3	39	55	66	72
4	$\text{C}_3\text{S}=61\%, \text{C}_2\text{S}=15\%$ $\text{C}_3\text{A}=8\%, \text{C}_4\text{AF}=15\%$	500	0,3	54	70	79	85

Анализ данных, приведенных в табл. 1, показывает, что минералогический состав цемента (составы 1, 2) и его удельная поверхность (составы 3, 4) значительно влияют на общую скорость гидратации цемента [3,6]. Через сутки твердения повышение удельной поверхности цемента с $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ до $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ и изменение минералогического состава может привести к росту степени гидратации цемента с 10 до 54 %, то

есть более чем в 5 раз. В возрасте 28 суток те же факторы увеличили степень гидратации с 30 до 85 %.

Результаты экспериментального определения степени гидратации минералов портландцементного клинкера наполненных цементных паст после ТВО в зависимости от удельной поверхности цемента и кварцевого наполнителя приведены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние удельной поверхности цемента и кварцевого наполнителя на гидратацию клинкерных минералов

№ п/п	Удельная поверхность, м ² /кг		Степень гидратации, %			Интенсивность, мм, Ca(OH) ₂ 1,791 Å
	цемента	наполнителя	C ₃ S, 1,759 Å	β C ₂ S, 2,88 Å	C ₃ A, 2,69 Å	
1	200	100	68,4	0	52,8	17,5
2	200	900	76,5	0	56,5	29,0
3	400	900	81,6	0	61,9	30,0
4	600	100	82,9	0	68,2	26,0
5	600	900	87,1	0	100,0	30,0

Рентгенограммы цемента и цементного камня с кварцевым наполнителем при различной дисперсности цемента по наличию дифракционных максимумов отличаются по интенсивности характерных дифракционных максимумов, соответствующих клинкерным минералам, и наличию кристаллических продуктов гидратации цемента, в частности, портландита (рис. 1).

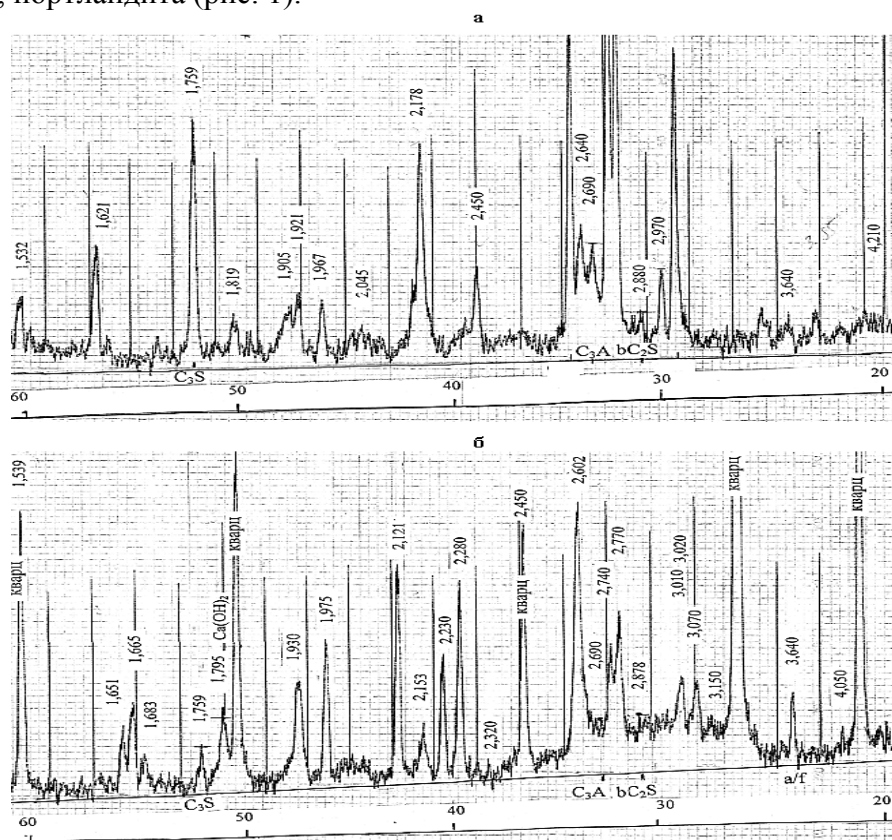


Рис. 1. Рентгенограммы цемента (а) и наполненного цементного камня (б) на основе цемента с удельной поверхностью 400 м²/кг и кварцевого наполнителя с удельной поверхностью 900 м²/кг после ТВО с дифракционными максимумами d: 1,759; 1,795; 1,791; 2,69 и 2,88 Å

При количественной оценке степени гидратации использовались дифракционные максимумы $1,7589 \text{ \AA}$ – для C_3S , $1,795 \text{ \AA}$ – для $Ca(OH)_2$, $2,690$ – для C_3A . В цементном камне, содержащем кварцевый наполнитель с удельной поверхностью $100 \text{ м}^2/\text{кг}$, с увеличением удельной поверхности цемента от 200 до $600 \text{ м}^2/\text{кг}$ степень гидратации C_3S возросла с 68 до 83% , а C_3A соответственно с $52,8$ до $68,2 \%$. В цементном камне, содержащем кварцевый наполнитель с удельной поверхностью $900 \text{ м}^2/\text{кг}$, с увеличением удельной поверхности цемента от 200 до $600 \text{ м}^2/\text{кг}$ степень гидратации C_3S возросла с $76,5$ до 87% , а C_3A соответственно с $56,5$ до 100% . Интенсивность дифракционных максимумов портландита во всех пробах примерно одинакова ($26\text{--}31 \text{ мм}$), за исключением пробы 1 (табл. 2), что может быть вызвано более низкой степенью гидратации трехкальцевого силиката при удельной поверхности цемента $200 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Наибольший прирост степени гидратации C_3S после ТВО отмечен при повышении удельной поверхности цемента с 200 до $400 \text{ м}^2/\text{кг}$. Для гидратации C_3A повышение удельной поверхности цемента существенно во всем диапазоне ее варьирования – от 200 до $600 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Результаты количественного рентгенографического анализа цементного камня с кварцевым наполнителем указывают на рост степени гидратации цемента после тепловлажностной обработки (ТВО) при увеличении удельной поверхности наполнителя со 100 до $900 \text{ м}^2/\text{кг}$. Однако с точки зрения статистических критериев рост степени гидратации цемента не доказан. В целом после ТВО ни в одном из составов не достигнута полная гидратация цемента.

Фазовый состав цементного камня в зависимости от соотношения удельных поверхностей цемента и кварцевого наполнителя $S_{удц}/S_{удн}$ приведен в табл. 3.

Таблица 3

Фазовый состав цементного камня с кварцевым наполнителем через 24 года твердения в зависимости от соотношения удельных поверхностей цемента и кварцевого наполнителя $S_{удц}/S_{удн}$

$S_{удц}/S_{удн}$, $\text{м}^2/\text{кг}$	Фазовый состав, содержание, % масс.							
	C_3S	βC_2S	C_4AF	Этtringит	C_3A	$Ca(OH)_2$	кварц	кальцит
200/100	9	4	6	<1	2	14	39	26
600/-	30	14	9	<1	4	38	5	-
600/500	9	<1	5	<1	2	8	46	30
400/100	9	<1	6	<1	2	15	36	29

Анализ фазового состава цементного камня с кварцевым наполнителем после длительного твердения в воде в течение 24 лет показал, что в цементном камне из смешанного цемента остаточное содержание C_3S составило 9% для трех составов с различной удельной поверхностью цемента и кварцевого наполнителя. В цементном камне на основе чистоклинкерного цемента с высокой удельной поверхностью $600 \text{ м}^2/\text{кг}$ содержание C_3S составило 30% и $14\% \beta C_2S$, что предполагает сравнительно более низкую степень гидратации.

Полученный результат приводит к выводу о том, что процесс гидратации цемента в плотных цементных пастах не протекает до конца вследствие ограниченного содержания воды в системе и ограниченного доступа воды через гидратные оболочки зерен цемента. Этот вывод подтверждается данными других авторов, согласно которым для достижения полной гидратации требуется, чтобы В/Ц составляло приблизительно

0,45. Показатель В/Ц в составах с кварцевым наполнителем выше, чем в составах на чистоклинкерном цементе. Остаточная доля клинкерных минералов в них соответственно ниже.

Проанализировано сравнительное изменение прочности образцов с кварцевым наполнителем через 28 суток и через 24 года хранения в непроточной воде. Образцы из чистоклинкерного вяжущего и из смешанного вяжущего, содержащего кварцевый наполнитель с удельной поверхностью $900 \text{ м}^2/\text{кг}$, увеличив прочность при сжатии, проявили тенденцию к снижению и к полной потере прочности при изгибе. Визуальное обследование состояния этих образцов позволило выявить развитие сети трещин, обусловленных объемными деформациями усадки. На образцах, изготовленных из цемента с удельной поверхностью $200...400 \text{ м}^2/\text{кг}$ и кварцевого наполнителя с удельной поверхностью $100 \text{ м}^2/\text{кг}$, опасные трещины не обнаружены: через 24 года их прочность возросла как при сжатии, так и при изгибе.

Выводы

1. Низкая степень гидратации цемента свидетельствует о нерациональном его использовании и может рассматриваться как резерв для экономии цемента в бетоне.
2. Достижение высокой прочности цементного камня за счет повышения степени гидратации цемента не всегда обеспечивает получение долговечного бетона.
3. С целью повышения долговечности целесообразно ограничить величину удельной поверхности наполнителя в рецептуре наполненных цементных композиций.

Список литературы

1. Твердение и деструкция цементного камня при длительных условиях / В.В. Бабков [и др.] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2005. № 9. С. 14-21.
2. Добшиц Л.М., Кононова О.В., Анисимов С.Н. Кинетика набора прочности цементного камня с модифицирующими добавками // Цемент и его применение. 2011. № 4. С. 104-107.
3. Миронов С.А., Ларионова З.М., Гарашин В.Р. Зависимость структуры и прочности цементного камня от минералогического состава вяжущего // Цемент. 1974. № 4. С. 18-20.
4. Салихов М.Г., Малянова Л.И. Изучение влияния модифицированной добавки на некоторые свойства асфальтобетона с отсевами дробления известняков для покрытий лесовозных дорог // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 1. С. 64-70.
5. Влияние наполнителей на кинетику структурообразования цементных композиций / В.И. Соломатов [и др.] // Композиционные строительные материалы с использованием отходов промышленности: тез. докл. к обл. семинару. Пенза: ПДЗ, 1984. С. 26-27.
6. Шейкин А.Е. Структура, прочность и трещиностойкость цементного камня. М.: Стройиздат, 1974. 192 с.
7. Шестоперов С.В. Дискуссия // Шестой международный конгресс по химии цемента. Т. 2, кн. I. М.: Стройиздат, 1976. С. 101.

THE FILLED CEMENT HYDRATATION PROCESS STUDY

Kononova Olga Vitalievna

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Theoretical and experimental studies to assess prolonged hardening cement pastes with mineral fillers in water hydration degree made. It was established that even when using $600 \text{ м}^2/\text{кг}$ specific surface area cement within a 24 years the cement hydration process is not completed.

Keywords: Cement, hydration, hardening, specific surface, quartz filler

УДК 624.012.4:620.193.2

ТЕХНОЛОГИЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ РАБОТ МАТЕРИАЛАМИ НА МИНЕРАЛЬНОЙ ОСНОВЕ

Ломоносова Татьяна Ионовна

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
LomonosovaTI@volgatech.net

Рассмотрены основные свойства материала «Герсмесь». Предлагаются способ и технология применения материала на минеральной основе «Герсмесь» для защиты бетонных и железобетонных конструкций. Рекомендована технология выполнения гидроизоляционных работ.

Ключевые слова: долговечность и защита бетона и железобетона; материал на минеральной основе «Герсмесь»

Введение. Гидроизоляция строительных конструкций, сооружений является одним из важнейших факторов, влияющих на качество строительных объектов и увеличение их долговечности [1]. Эксплуатационные качества гидроизоляции прежде всего зависят от свойств самих гидроизоляционных материалов. Таким образом, создание новых, более стойких методов и материалов гидроизоляционной защиты строительных конструкций, а также их исследование в настоящее время являются актуальными.

Однако эффективность гидроизоляции в целом зависит не только от применения современных материалов, но и от уровня индустриализации и технологичности гидроизоляционных работ.

Цель работы – разработка и исследование свойств эффективного защитного состава на минеральной основе для бетона и железобетона, обладающего улучшенными технологическими и эксплуатационными свойствами, повышенной долговечностью и способного увеличить срок службы строительных конструкций и сооружений.

Решаемые задачи: 1) установить основные свойства защитного покрытия на минеральной основе «Герсмесь» и область его применения; 2) разработать составы и технологию выполнения ремонтных работ при отрицательных температурах; 3) разработать рекомендации по защите бетона и технологический регламент на применение защитного покрытия на минеральной основе.

Математическое моделирование. В теоретических исследованиях использованы численные методы математического моделирования, экспериментальные исследования проведены в лабораторных условиях.

Основные положения. Для защитных покрытий используют материалы на органической или минеральной основе. В последнее время материалы на минеральной основе находят все большее применение для защиты строительных конструкций в силу их высоких строительно-технологических свойств и простоты применения по сравнению с традиционными материалами на органическом вяжущем [2].

В настоящее время ассортимент строительных материалов на минеральной основе довольно разнообразен. Однако многие из них имеют недостатки, что ограничивает

область их применения. Одним из новых материалов, устраняющих основные недостатки известных гидроизоляционных герметиков, является материал «Герсмесь» [3], разработанный на кафедре «Строительные материалы и технологии» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).

На основе экспериментальных данных были определены свойства и особенности материала «Герсмесь» [4, 5].

При использовании материала «Герсмесь» гарантируется полная гидроизоляция и водонепроницаемость (до W50), он расширяется при твердении, проникает в поры и микротрещины и не выкрашивается.

Получаемый после затвердевания материал имеет высокую механическую прочность на сжатие (10...15 МПа) уже через сутки, что позволяет использовать его для ремонта и изготовления несущих конструкций. Строительно-технические свойства материала «Герсмесь» следующие: водонепроницаемость через 1 час – W10, через сутки – W50; температура затвердевания – от минус 5 °С до плюс 30 °С. Благодаря таким свойствам, он может использоваться как на внутренних, так и на наружных поверхностях, независимо от направления давления воды, а конструкции, защищенные материалом «Герсмесь», могут эксплуатироваться при температурах от минус 40 °С до плюс 30 °С.

При затвердевании материал «Герсмесь» не только не дает усадки, а имеет линейное расширение в пределах 0,2 ...1,2 %, что повышает стойкость к действию многих жидких агрессивных сред и замедляет карбонизацию поверхностных слоев бетона. В результате исследований также установлено, что «Герсмесь» не вызывает коррозии стальной арматуры, а в обработанных железобетонных конструкциях резко уменьшается скорость её коррозии.

Низкий модуль упругости материала и хорошая адгезия как к стальной арматуре, так и к раствору, бетону, кирпичу и другим конструкционным материалам способствует хорошей работе защитного покрытия с основными, защищаемыми материалами. Адгезия к бетонному основанию составляет до 3,5 МПа.

Покрытие из материала «Герсмесь» имеет пониженное трещинообразование, высокое качество сцепления с бетоном. Материал «Герсмесь» по составу однороден с бетоном и одинаково с ним реагирует на изменения внешних условий, а также имеет повышенную трещиностойкость.

Поровая структура затвердевшего материала «Герсмесь» характеризуется большим содержанием условно-замкнутых пор, что обеспечивает высокую морозостойкость материала, составляющую F300 и более в солях.

Материал «Герсмесь» грибостоек, не токсичен, пригоден к использованию в системе хозяйственно-питьевого снабжения, не горюч, не взрывоопасен.

При проведении ремонтных работ в зимнее время, как показывает практика, применять обогревные способы, включающие разогрев изолируемой конструкции и затворение материалов на минеральной основе на горячей воде, не целесообразно [6].

В связи с этим была разработана технология ведения защитных работ материалом «Герсмесь» при отрицательных температурах. Исследовано влияние отрицательных температур на сроки схватывания и прочность материала «Герсмесь», применяемого в чистом виде и совместно с добавками.

На основе экспериментальных исследований было установлено, что наиболее оптимальным с точки зрения технологичности и экономичности являются следующие

составы: а) «Герсмесь» с формиатом натрия (2,5%) и добавкой «Лигнопан Б-4» (3%); б) «Герсмесь» с формиатом натрия (2,5%) и добавкой С-3 (0,4%). Добавки обеспечивают повышение прочности до 12% и увеличение сроков схватывания до 50 мин.

На основе анализа повреждений различных бетонных и железобетонных конструкций и их ремонта [7] разработан Технологический регламент на применение материала «Герсмесь» [8].

Ремонтные работы выполняются в определенной технологической последовательности: 1) подготовка бетонных и железобетонных поверхностей; 2) насыщение поверхности водой; 3) приготовление смеси; 4) нанесение смеси; 5) уход за обработанной поверхностью.

При *подготовке поверхности* изолируемая поверхность очищается от штукатурки, легко удаляемых включений, краски, грязи, жира, поверхностной пленки цементного камня и прочего вручную (металлическими щетками) или механизированным способом (при помощи перфоратора, электродрели с абразивной насадкой, пескоструйным аппаратом, водоструйной установкой высокого давления и т.д.). Затем гладкие и шлифованные поверхности обрабатывают 10% раствором уксусной кислоты и через час промывают водой. Оголенная арматура зачищается до металлического блеска.

Поверхность считается подготовленной, если она чиста, на ощупь шероховата, обильно увлажнена (до прекращения впитывания влаги).

При проведении работ при отрицательной температуре необходимо очистить основание от снега, льда, возможен обогрев основания.

Подготовка смеси к работе. Из упаковки высыпают в удобную емкость необходимое для работы в течение жизнеспособности смеси (от 5 до 30 минут) количество смеси из расчета 3,4...5,7 кг на 1 м² ровной поверхности при толщине покрытия 2...4 мм, что составит примерно 3...4 кг материала «Герсмесь».

При незначительных повреждениях вглубь и восстановлении поверхности конструкций площадью до 1 м² применяют два состава: грунтовочный состав № 1, состоящий из материала «Герсмесь» и воды в соотношении 1:0,75, и состав № 2 – в соотношении 1:0,25...0,30.

Размешивают составы вручную или в низкоскоростном смесителе до получения однородного, пластичного раствора консистенции, соответствующей жидкому творогу или густой сметане. Через 5 минут состав необходимо повторно тщательно перемешать без добавления воды. Смесь готова к работе, если она однородна, пластична.

Если площадь, подлежащая восстановлению, со значительными повреждениями вглубь и площадью более 1 м², то используются тоже два состава. Это вышеназванный состав № 1 и состав № 3, состоящий из материала «Герсмесь», мелкого песка с $M_k=1...1,5$ и воды в соотношении 1:1:0,25...0,30.

В зимнее время возможно проведение срочных ремонтных работ без обогрева, используя материал «Герсмесь» совместно с противоморозными добавками. Количество противоморозных добавок зависит от средней расчетной наружной температуры твердения бетона.

Нанесение смеси на поверхность. Предварительно очищенная и обильно увлажненная поверхность должна быть прогрунтована приготовленным составом № 1 путем тщательного втирания его в поверхность маховой кистью или иным доступным способом толщиной 1 мм.

Составы № 2 и № 3 наносят на поверхность при помощи шпателя, торкрет способом или способом дискретного набрызга толщиной не менее 5...10 мм, заполняя раковины, стыки и швы конструкций на всю глубину. Рекомендуемая толщина покрытия «Герсмесь-стандарт» составляет 2...6 мм, а «Герсмесь-раствор» – 4...15 мм. При гидроизоляционных, ремонтно-восстановительных, облицовочных и других работах толщина слоя наносимой или укладываемой смеси должна быть технологически необходимой для данного вида работ.

В случае восстановления поверхности толщиной более 10 мм приготавливают составы с применением песка (состав № 3). При необходимости поверхность восстанавливают в несколько слоев, второй слой наносится на свежий, но уже схватившийся предыдущий слой. Окончательно поверхность промазывается кистью составом № 1 толщиной 1 мм.

Уход за обработанной поверхностью. Если защищаемая конструкция находится в среде, имеющей влажность менее 90%, то за гидроизолируемым покрытием в течение 7...10 суток необходим специальный уход, заключающийся в регулярном увлажнении поверхности через каждые 4...6 часов.

При отрицательной температуре покрытие во избежание потери влаги или повышенного увлажнения из-за атмосферных осадков следует укрыть слоем гидроизоляционного материала (полиэтиленовая пленка, рубероид и др.).

Выводы

Материал «Герсмесь» применяется для выполнения работ по восстановлению, гидроизоляции и антикоррозионной защите монолитных и сборных бетонных и железобетонных конструкций.

Установлена повышенная долговечность материала на минеральной основе «Герсмесь» на основе экспериментально определенных высоких строительно-технологических свойств: прочность при сжатии через 28 суток – 45 МПа; водонепроницаемость через сутки – W50; адгезия – 3,5 МПа; сроки схватывания: начало 3...15 мин., конец – 30 мин.; грибостойкость; морозостойкость F300 (количество условно-замкнутых пор в структуре пор 65%); твердость (10,7 кг/мм²). Модуль упругости покрытия из материала «Герсмесь» (1655,80 МПа) ниже, чем у бетонного основания, что свидетельствует о повышенной его трещиностойкости и о высоком качестве сцепления с бетоном.

Разработаны составы с противоморозными добавками для защиты конструкций и проведения ремонтных работ в зимнее время. По технологическим, прочностным и экономическим показателям выявлены рациональные составы, состоящие из материала на минеральной основе «Герсмесь» с комплексными добавками: 1 – формиат натрия (2,5%) и «Лигнопан Б-4» (3%), 2 – формиат натрия (2,5%) и суперпластификатор С-3 (0,4%). Добавки обеспечивают повышение прочности до 12% и увеличение сроков схватывания до 50 мин.

Разработанные рекомендации и технологический регламент на применение материала «Герсмесь» могут использоваться для обработки поверхностей с целью их восстановления и ликвидации протечек в различных типах сооружений. Например, для подвальных помещений, фундаментов, балконов, резервуаров, бассейнов, подземных переходов, тоннелей, метрополитенов, кабельных и канализационных колодцев, конструкций очистных сооружений, бетонных сооружений, подвергающихся агрессивно-

му воздействию, и других объектов гражданского, промышленного и транспортного назначения.

Список литературы

1. Механизация работы с гидроизоляционными материалами / Rutger. Инновационные технологии в строительстве. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rutger.ru/technologies/4.html> (дата обращения 2.10.13).
2. Иливанов В.Ю., Салихов М.Г. Исследование долговечности модифицированного щебеночно-мастичного асфальтобетона при действии агрессивной среды // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 2 (18). С. 38-45.
3. Добшиц Л.М., Клибанов А.Л. Новый гидроизоляционный материал «Герсмесь» для повышения водонепроницаемости строительных конструкций // Современные технологии строительных материалов и конструкций: материалы Всерос. научно-технической конференции. Саранск: изд-во Мордов. ун-та, 2003. С. 13-16.
4. Добшиц Л.М., Ломоносова Т.И. Материалы на минеральной основе для защиты строительных конструкций и повышения их долговечности // Строительство и реконструкция: Научно-технический журнал Орловского государственного технического университета. №1/27(589). Орел: ОрелГТУ, 2010. С. 64-68.
5. Добшиц Л.М., Клибанов А.Л., Ломоносова Т.И. Гидроизоляция подземных транспортных сооружений с использованием герметиков на минеральной основе // Метро и тоннели. М. 2012. № 4. С. 24-27.
6. Добшиц Л.М., Ломоносова Т.И. Исследование составов защитных покрытий на минеральной основе при отрицательной температуре // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вып. № 35. Одесса, «Зовнішрекламсервіс». 2010. С. 122-126.
7. Руфферт Г. Дефекты бетонных конструкций / пер. с нем. И. Г. Зеленцов; под ред. В.Б. Семенова. М.: Стройиздат, 1987. 111 с.
8. Ломоносова Т.И. Технологический регламент на применение материалов на минеральной основе для защиты строительных конструкций // Труды Поволжского государственного технологического университета, ежегодная научно-техническая конференция ППС, докторантов, аспирантов и сотрудников ПГТУ [сборник статей]. Ч.2. Йошкар-Ола: ПГТУ. 2013. С. 399-406.

**THE TECHNOLOGY OF WATERPROOFING WORKS BY MATERIALS ON
THE MINERAL BASIS**

Lomonosova Tatiana Ionovna

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The main properties of the material «Gersmes» are considered. The way and technology of application of a material on a mineral basis of «Gersmes» for protection of concrete and reinforced concrete construction is offered. The technology of madding of waterproofing works is recommended.

Keywords: *durability and protection of concrete and reinforced concrete; material on a mineral basis of «Gersmes»*

УДК 666.974

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ БЕТОНА

Магомедэминов Исрафил Искендерович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
MagomedeminovII@volgatech.net

Приводятся результаты испытания на морозостойкость известнякового щебня, фракционированного по величине средней плотности, и бетонов, приготовленных на этих фракциях, а также специальных образцов, включавших по одному зерну заполнителя с различной плотностью. Не установлена определенная корреляция между плотностью щебня в куске и морозостойкостью заполнителя.

Ключевые слова: плотность, замораживание-оттаивание, заполнитель, бетон, расширение

Введение. По вопросу влияния плотности заполнителя в куске γ_0^K на морозостойкость бетона можно встретить самые различные данные [1-4], причем в каждой работе установлены допустимые значения γ_0^K для заполнителя, применение которого позволяет получить долговечный бетон. Например, при изучении свойств гравия из кремнистых и глинистых сланцев с целью применения его в качестве крупного заполнителя бетона Schuster и Laughlin [1] пришли к заключению, что, несмотря на существенное различие в минералогическом составе различных проб гравия из кремнистых сланцев, все же не было отмечено их различие в морозостойкости: бетонные призмы на всех видах гравия, содержащего 6-10% зерен с $\gamma_0^K < 2,45 \text{ г/см}^3$, разрушались при испытаниях на морозостойкость с образованием трещин. И напротив, бетонные призмы, изготовленные на заполнителе из глинистых сланцев, несмотря на широкие колебания в показателях их свойств, не обнаруживали трещинообразования, а разрушались лишь с поверхности, в виде шелушения.

Цель работы – исследовать морозостойкость проб крупного заполнителя с различной плотностью в куске и бетонов на их основе.

Решаемые задачи: установить влияние плотности каменного материала на морозостойкость самого материала и бетонов, в которых этот материал использован в качестве крупного заполнителя.

В работе [3] отмечена тенденция к повышению морозостойкости бетона по мере увеличения плотности примененного крупного заполнителя.

Однако при детальном анализе результатов этой работы (см. таблицу) выясняется следующее:

1. Морозостойкость образцов, высушенных в течение одних суток, увеличивается по мере уменьшения плотности включенного заполнителя. Так, для образцов с $\gamma_0^K = 2,2-2,3 \text{ г/см}^3$ расширение 0,025 мм и 0,254 мм наступило после 267 и 875 циклов замораживания и оттаивания, а для образцов на заполнителе с $\gamma_0^K = 2,4-2,5 \text{ г/см}^3$ – после 25 и 215 циклов соответственно. Такая же тенденция в изменении рассматриваемых свойств «плотность-морозостойкость» наблюдается и для образцов, высушенных в течение трех суток: образцы с $\gamma_0^K = 2,2-2,3 \text{ г/см}^3$ расширения 0,025 мм и 0,254 мм

достигли через 1000 и 2000 циклов попеременного замораживания и оттаивания, а образцы с $\gamma_0^K = 2,4-2,5 \text{ г/см}^3$ соответственно через 269 и 1260 циклов.

2. По-иному ведут себя образцы, подвергнутые тем же условиям испытания, но предварительно высушенные в течение двух и четырех суток. Для образцов этой серии наблюдалось повышение морозостойкости по мере увеличения плотности включенных частиц заполнителя. Так, при увеличении γ_0^K с $2,2-2,3 \text{ г/см}^3$ до $2,4-2,5 \text{ г/см}^3$: контрольные деформации 0,025 мм для образцов, высушенных в течение двух суток, достигались после 4 и 293 циклов замораживания и оттаивания; для образцов, высушенных в течение четырех суток, – после 360 и 1000 циклов соответственно. Для достижения образцами этой серии деформации расширения 0,254 мм необходимо было 34 и 974 (для образцов двухсуточного высушивания) и 569 и 2000 (для образцов, подвергшихся высушиванию в течение четырех суток) циклов соответственно.

Морозостойкость бетонных образцов в зависимости от средней плотности включенных частиц заполнителя и времени их высушивания

Плотность заполнителя в куске, г/см^3		Количество циклов, вызывающих расширение бетонных образцов, равное	
		0,025 мм	0,254 мм
Высушивание в течение 1 дня	2,2-2,3	267	875
	2,3-2,4	2	8
	2,4-2,5	25	215
Высушивание в течение 2 дней	2,2-2,3	4	34
	2,3-2,4	26	132
	2,4-2,5	293	974
Высушивание в течение 3 дней	2,2-2,3	1000	2000
	2,3-2,4	271	1580
	2,4-2,5	269	1260
Высушивание в течение 4 дней	2,2-2,3	360	596
	2,3-2,4	313	630
	2,4-2,5	1000	2000

Примечание: заполнителем в образцах служил речной гравий, очень разнородный по водопоглощению, плотности в куске, текстуре и другим показателям.

Итак, видим: результаты испытаний достаточно пестры и свидетельствуют, что невозможно установить однозначную зависимость между параметрами «плотность-морозостойкость», особенно для гравийных проб, отличающихся водопоглощением, структурой, степенью насыщения и другими показателями.

Методика эксперимента. В опытах использовался известняковый щебень, который был высушен и фракционирован по величине γ_0^K . Полученные пробы щебня с различной плотностью зерен испытывались на морозостойкость. В процессе испытания контролировались потери проб в массе.

Для определения морозостойкости бетонов, приготовленных на этих пробах щебня, применялись образцы призм размером $5 \times 5 \times 20 \text{ см}$, в торцах которых были заделаны металлические штыри из нержавеющей стали. В процессе испытаний через каждые пять циклов замораживания и оттаивания измерялась длина и определялись относительные деформации расширения образцов.

Результаты исследования и их анализ. Результаты испытания щебня на морозостойкость ($t_{\text{зам}} = -50^\circ \text{C}$) приведены на рис. 1а. Они показывают, что по мере увеличе-

ния γ_0^K потери в массе испытуемых проб уменьшались. Однако и результаты наших опытов свидетельствуют, что разрушения фракции щебня с $\gamma_0^K = 2,51-2,60$ г/см³ были больше, чем фракции с $\gamma_0^K = 2,31-2,50$ г/см³. Фракция с $\gamma_0^K > 2,60$ г/см³ испытывала минимальные потери, а фракция с $\gamma_0^K < 2,30$ г/см³ – максимальные: до 95 % после 50 циклов замораживания и оттаивания.

На рис. 1б приведены результаты испытания на морозостойкость бетонов, приготовленных на исследуемых фракциях известнякового щебня. В опытах применялись образцы-призмы 5х5х20 см. Степень происходящих деструктивных процессов оценивалась по величине остаточных деформаций образцов.

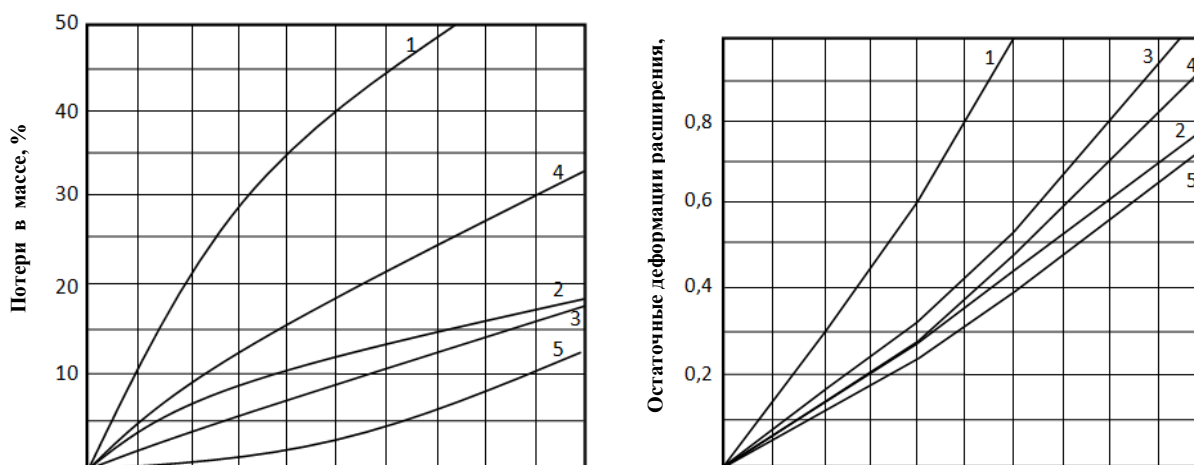


Рис. 1. Результаты испытаний на морозостойкость проб известнякового щебня и бетонов на их основе: а) кинетика разрушения известнякового щебня, фракционированного по величине плотности в куске γ_0^K в г/см³; б) остаточные деформации бетонных образцов, изготовленных на этих фракциях: 1 – $< 2,30$ г/см³; 2 – $2,31-2,40$ г/см³; 3 – $2,41-2,50$ г/см³; 4 – $2,51-2,60$ г/см³; 5 – $> 2,61$ г/см³

Графическая интерпретация результатов показывает, что по величине средней плотности нельзя предсказать физическую стойкость материала, подвергающегося воздействию попеременных циклов замораживания и оттаивания. Например, образцы бетона, приготовленные на фракции с $\gamma_0^K = 2,31-2,40$ г/см³ показывали меньшие остаточные деформации, чем на щебне с $\gamma_0^K = 2,41-2,60$ г/см³.

Минимальные деформации обнаруживали образцы бетона, приготовленные на фракции с $\gamma_0^K > 2,60$ г/см³, максимальные – на фракции с $\gamma_0^K < 2,30$ г/см³.

Выводы. Проведенные исследования свидетельствуют, что по величине средней плотности камня нельзя оценивать его качество как заполнителя для бетона. Влияние крупного заполнителя на долговечность (и, в частности, на морозостойкость) бетона носит более сложный характер и зависит как от температурно-влажностных условий эксплуатационной среды бетона, так и от структурно-технологических основ его получения, водоцементного отношения, вида вяжущего и других факторов.

Список литературы

1. Schuster R. L., Laughlin J. F. a Study of chert and shale cravel in concrete // Highway re-search board, bull. 1961. № 305. P. 51-72.
2. Wuerpul C. E., Rexford E. P. The Soundness of chert as measured by bulk specific gravity and absorption // Proceedings / ASTM. 1940. Vol. 40. P. 1021-1043.

3. Maininger R. C., Fox J. F., Lepper H. A. A single-participle freezing resistance test for concrete aggregate // Proceedings / ASTM. 1965. Vol. 65. P. 801-808.

4. Магомедэминов И.И. Оценка морозостойкости крупного заполнителя тяжелых бетонов: дис. ... канд. техн. наук. Л., 1981. 228 с.

INFLUENCE OF COARSE AGGREGATE ON FROST RESISTANCE OF CONCRETE

Magomedeminov Israfil Iskenderovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Results on research of freezing-thawing durability ($t = -50\text{ }^{\circ}\text{C}$) of limestone aggregates fractures with various density and concretes, incorporated these fractions, are given.

Keywords: density, freezing-thawing, durability, aggregate, concrete, temperature of freezing, expansion.

УДК 625.8

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА И УКЛАДКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С ОТХОДАМИ ДРОБЛЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКОВ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Малянова Лидия Ивановна, Салихов Мухаммет Габдулхаевич

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
Salihov@volgatech.net

Приводится разработанный состав и описываются предлагаемые технологии производства и укладки модифицированной отходом местного химического производства асфальтобетонной смеси с отходами дробления малопрочных известняков.

Ключевые слова: асфальтобетонная смесь, вяжущее, модификация, анилиносодержащие отходы производства, малопрочные известняки, дробление, технологии производства и укладки

Введение. В настоящее время с целью улучшения свойств и снижения себестоимости при производстве асфальтобетонных смесей всё шире начали использовать новые составы с применением различных добавок. Разработаны также составы с использованием местных материалов и отходов промышленности, модифицированием минеральных составляющих или вяжущих, на основе применения нанотехнологий и т.д. При использовании местных материалов и отходов промышленности чаще всего возрастает требуемый расход вяжущего, а модификация компонентов путем применения дорогостоящих поверхностно-активных веществ удорожает себестоимость асфальтобетонных смесей.

Цель работы – разработать состав и технологии производства и укладки в покрытие модифицированной асфальтобетонной смеси типа Б сравнительно низкой себестоимости на основе замены некоторых дорогостоящих компонентов (минерального порошка и части песка) отходами дробления местных малопрочных известняков и сокращения расхода вяжущего за счет использования в качестве модифицирующей добавки отходов местной химической промышленности.

Решаемые задачи. Ранее был разработан способ приготовления горячей щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси с отсевами дробления известняков марки 400 для устройства верхнего слоя покрытий автомобильных дорог [1, 2]. Однако при этом происходит определенный рост требуемого расхода вяжущего. Для преодоления этого недостатка был разработан способ производства асфальтобетона, позволяющий уменьшить требуемый расход вяжущего за счет использования небольшого количества добавки из числа отходов местной химической промышленности – анилино-содержащих отходов химического производства [3]. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- изучить состояние вопроса по данной проблеме;
- исследовать свойства исходных материалов и образцов асфальтобетонов с их использованием, провести сравнительный анализ результатов испытаний с требованиями действующих нормативов и разработать рекомендации по технологиям производства и укладки асфальтобетонных смесей предложенного состава.

Техника эксперимента и изложение результатов исследования. Горячая мелкозернистая асфальтобетонная смесь приготавливается путем смешения предварительно нагретых до рабочих температур компонентов в серийно выпускаемой асфальтобетонной установке принудительного перемешивания, оборудованной устройством для разогрева, обезвоживания, перемешивания и выдачи готовой продукции потребителю. Приготовление модифицированной асфальтобетонной смеси с отходами дробления известняков, осуществляется следующим образом: вязкий битум БНД 90/130 или БНД 60/90, разогретый и обезвоженный при температуре 130... 140 °С, перекачивают в свободный котел (цистерну) и туда же подают расчетное количество анилино-содержащих отходов местного химического производства. Затем полученную смесь (модифицированное вяжущее) перекачивают в расходную емкость (цистерну). Перед объединением с битумом анилиносодержащие отходы подогревают до жидкотекучего состояния (примерно до 30...40 °С, в зависимости от содержания в отходе анилина). Далее модифицированное вяжущее подают в асфальтобетоносмеситель, оборудованный паро-, электро- или маслопрогревом, где перемешивают с другими предварительно подогретыми отдозированными и обезвоженными при 150...170 °С минеральными компонентами. Перемешивание обеспечивает равномерное распределение всех составляющих и полное обволакивание вяжущим поверхности минеральных зерен. Следует ожидать, что из-за присутствия в смеси активирующей добавки в процесс смачивания поверхностей минеральных частиц при этом должен облегчиться и перевод вяжущего в связанное состояние будет более полным. Точность дозирования щебня, песка и отходов дробления известняков должна соответствовать классу точности 2 по ГОСТ 10223 [4] и ГОСТ 30124 [5]. Точность дозирования битума и кубовых остатков $\pm 1,5$ % по массе.

При реализации данного проекта линия подачи минерального порошка в асфальтобетоносмеситель не будет задействована, а подача отходов камнедробления организуется через бункер-питатель, сушильный барабан и агрегаты грубого и точного дозирования совместно с крупным и мелким заполнителями. Для этого в открытом складе отходы дробления известняков в заданном соотношении предварительно смешивают с дробленным песком, и эту смесь далее отправляют в бункер-питатель. Их смешение производится путем подачи ОДИ ковшом фронтального погрузчика в склад дробленого песка и их перелопачивания.

Техническим результатом проекта является повышение прочности, теплостойкости и водостойкости, а также снижение расхода вяжущего [3], при соответствии

остальных показателей требованиям ГОСТ 9128-97 [6] к горячим асфальтобетонам типа Б. Способ получения горячей щебеночной асфальтобетонной смеси с отходами дробления известняков М 400 включает приготовление горячей асфальтобетонной смеси для верхнего и нижнего слоев покрытий, состоящее, % масс.: из щебня прочных пород – 46...48, дробленого песка (отходов дробления прочных пород) – 38...50, отходов дробления известняков М 400 – 3...15 % и вяжущего – 4,7...4,9 (сверх 100 %). Вяжущее получают путем добавления в вязкий битум БНД 90/130 или БНД 60/90 0,6...1,0 % (от массы битума) добавки анилиносодержащих отходов химического производства.

При исследованиях и постройке опытного участка приготовление асфальтобетонной смеси осуществлено модифицированием битум-вязкого БНД 90/130 добавками кубовых остатков анилина – отходов химического производства ОАО «Химпром» (г. Чебоксары).

При добавлении в вязкие битумы рассмотренных жидких отходов химической промышленности г. Чебоксары в количестве 0,6...1,0 % от массы вяжущего позволило повысить глубину проникания иглы в вяжущее при температурах +25 и 0 °С, снизить температуру хрупкости и расширить индекс пенетрации при соответствии оставшихся показателей требованиям ГОСТ 22245-90 [7]. Это соответственно приводит к улучшению свойств асфальтобетонов на их основе. Работы по получению горячей модифицированной асфальтобетонной смеси типа Б с ОДИ предложенного состава и технологии, т.е. заменой дорогостоящих минерального порошка и части дробленого песка на отходы дробления местных малопрочных известняков при применении кубовых остатков производства анилина, необходимо вести в сухую погоду при температуре не ниже плюс 10 °С весной и ниже плюс 5 °С – осенью. Перед укладкой смеси основание тщательно очищают от пыли и грязи механической щёткой или сжатым воздухом. За 3-5 часов до укладки смеси основание обрабатывают битумной эмульсией из расчёта 0,6...0,9 л/м² или жидким битумом 0,3...0,4 л/м². Не позже чем за одну смену рабочую зону закрывают для движения, устраивают ограждения, дорожные знаки и подготавливают съезды и объезды. Выполняют разбивку в плане и по высоте. Для постройки асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги применяют комплект машин в составе одного-двух асфальтоукладчиков, трех-четырех самоходных катков и ряда вспомогательных машин, оборудования и ручного механизированного инструмента: автогудронатора, машины с механической щёткой (дорожной щетки или комбинированной дорожной машины), компрессора, самоходного малогабаритного виброуплотнителя, ручной вибротрамбовки, передвижного битумного котла и т.д. По краям покрытия устанавливают боковые упоры из деревянных брусьев или из рельсформ узкой колеи, либо при использовании асфальтоукладчиков со скользящей опалубкой, обходятся без них. Асфальтобетонную смесь к месту укладки доставляют автомобилями-самосвалами. Качество привезённой смеси в кузове оценивают по результатам визуального осмотра и замером температуры термометром. Качество уложенной смеси оценивают как неразрушающими методами, так и путем периодического отбора проб и испытания их в лабораторных условиях, в соответствии с действующими нормативами и принятыми в предприятии правилами и системе управления качеством продукции.

Для обеспечения однородности смеси по структуре и температуре разгрузку асфальтобетонной смеси из кузова автосамосвала в бункер-питатель асфальтоукладчика рекомендуется осуществлять через передвижной перегружатель.

Укладку горячей смеси ведут одним или двумя самоходными асфальтоукладчиками одной или двумя смежными полосами на пневмо- или гусеничном ходу, без перерывов и остановок. При относительно нежаркой погоде и использовании одного асфальтоукладчика, с целью обеспечения хорошего сцепления смежных полос, работу могут организовывать отдельными подзахватками длиной по 50...100 м. Конкретная длина подзахватки зависит от температуры наружного воздуха, наличия ветра и характера открытости местности. При температурах выше 20...25 °С длину подзахватки или длину одной полосы укладки часто увеличивают до длины сменной захватки. Толщину укладываемого слоя регулируют путем поднятия или опускания выравнивающей плиты асфальтоукладчика. Скорость движения асфальтоукладчика, в зависимости от толщины укладываемого слоя, изменяется от 5 м/мин. – при толщине слоя до 2,5 см и до 2,0 м/мин. – при толщине 6...10 см. При наличии трамбующего бруса у асфальтоукладчика значение коэффициента уплотнения уложенного слоя доходит до 0,92. В узких и стесненных местах асфальтобетонную смесь распределяют автогрейдером и вручную. Поверхность уложенного слоя после прохода асфальтоукладчика должна быть ровной, однообразной и без раковин.

Уложенную в покрытие асфальтобетонную смесь уплотняют самоходными катками: сначала прикатывают легким катком с массой 6...8 т, затем уплотняют средними гладковальцовыми или пневмошинными катками с массой 8...10 т и в конце – самоходным тяжелым гладковальцовым катком с массой 13...18 т. Скорость движения гладковальцовых катков при первых 5-6 проходах по одному следу следует принять 1,5...2,0 км/ч, затем 3...5 км/ч; для пневмошинных катков скорость движения составляет 5...8 км/ч. Асфальтобетонную смесь после предварительного прикатывания можно уплотнять виброкатками с массой 4...8 т. Прикатку асфальтобетонной смеси производят за 2...4 прохода по одному следу легкого катка, а укатку – за 10...15 проходов среднего катка. Окончательное уплотнение тяжелым катком осуществляется за 2...3 прохода по одному следу. Конкретное число устанавливается пробной укаткой. При этом необходимо отметить, что у самоходных пневмошинных катков, по сравнению с гладковальцовыми, производительность и глубина уплотнения больше; кроме того, за счет возможности изменения внутреннего давления воздуха в шинах они позволяют регулировать контактные давления и уменьшить дробимость крупного заполнителя в уплотняемой асфальтобетонной смеси. В узких местах ручной укладки асфальтобетонной смеси число проходов катка по одному следу необходимо увеличивать на 20...30 %. Следует подчеркнуть то, что из-за использования модифицирующей добавки, появляется возможность либо уменьшения количества проходов катков по одному следу, либо некоторого снижения требования к предельно допустимой температуре смеси в конце процесса уплотнения.

Уплотнять горячие модифицированные асфальтобетонные смеси типа Б можно начинать при 100...120 °С, т.е. на 10...20 °С ниже, чем немодифицированные. Соответственно это позволяет утверждать, что способ модификации, во-первых, менее энергоемкий процесс, во-вторых эти смеси можно укладывать весной раньше, а осенью – позже, чем немодифицированные. Кроме того, данный способ позволяет организовать при относительно невысоких температурах воздуха более длинные подзахватки без опасений получить менее качественные стыки на смежных полосах, что способствует убыстрению темпов строительного процесса.

Повышение уплотняемости модифицированной смеси объясняется резким снижением поверхностной энергии контактирующих между собой зернистых составляющих и вяжущего в присутствии поверхностно-активной добавки, в результате чего улучша-

ется смачиваемость поверхностей и облегчается взаимная смещаемость минеральных компонентов относительно друг друга при воздействии внешней уплотняющей нагрузки.

Вальцы катков во избежание прилипания смеси к ним должны автоматически смачиваться смесью воды с керосином соотношении 1:1. В недоступных для катков местах уплотнение выполняют металлическими трамбовками. Пористость на отдельных участках устраняют путём россыпи по поверхности покрытия асфальтобетонной смеси крупностью заполнителя не более 5 мм, с последующим уплотнением катками. При перерывах в работе, например в конце второй смены, ступени между полосами должны быть минимальными. Швы должны быть перпендикулярны к оси дороги.

В результате применения предложенного модифицированного асфальтобетона при строительстве верхнего и нижнего слоев покрытий автомобильных дорог значительно улучшается состояние автомобильных дорог в Чувашской Республике и снижается себестоимость и энергоёмкость строительных работ. Это будет способствовать выполнению Постановления Кабинета Министров ЧР [9] в части развития модернизации и развития сети автомобильных дорог.

Выводы

1. Внедрение в производство предложенного модифицированного асфальтобетона с отходами дробления малопрочных известняков и технологий его производства и укладки при строительстве покрытий автомобильных дорог позволяет значительно сократить расход вяжущего, уменьшить себестоимость и энергоёмкость строительных процессов при обеспечении требуемого качества и улучшения некоторых их физико-механических свойств.

2. Разработанную модифицированную смесь можно выпускать в серийно выпускаемых асфальтобетоносмесительных установках и укладывать традиционно применяемым комплектом асфальтоукладочных машин.

Список литературы

1. Патент РФ на изобретение № 2426704 МПК С 04/В 26/26 (2006.01). Способ получения щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси с добавкой отсеков дробления известняков марки 400 / М.Г. Салихов, В.М. Вайнштейн, Е.В. Вайнштейн: Оpubл. 20.08.2011. Бюл. № 23.

2. О нетрадиционных технологиях производства и укладки дорожно-строительных материалов в лесной зоне / С.Я. Алибеков [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2007. № 1. С. 76-81.

3. Патент РФ № 2503633 МПК С 04 В 26/26 (2006.01). Способ получения горячей щебеночно-асфальтобетонной смеси с добавкой отсеков дробления известняков марки 400 / М.Г. Салихов, Л.И. Малянова, В.Ю. Иливанов: Оpubл. 10.01.2014. Бюл. № 1.

4. ГОСТ 10223-97. Дозаторы весовые дискретного действия. Общие технические требования. Постановлением Гос. комитета РФ по стандартизации, метрологии и сертификации от 8 мая 1998 г. № 181/Межгос. стандарт. ГОСТ 10223-97 введен в действие непосредственно в качестве гос. стандарта РФ с 1 июля 1999 г. М.: Стандартинформ, 1998 (взамен ГОСТ 10223-82).

5. ГОСТ 30124-94. Весы и весовые дозаторы непрерывного действия. Общие технические требования. Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 6 от 21 октября 1994 г.) Пост. Комитета РФ непосредственно в качестве гос. стандарта РФ по стандартизации, метрологии и сертификации от 18 декабря 1995 г. № 610/Межгос. стандарт ГОСТ 30124-94 введен в действие в качестве гос. стандарта РФ с 1 января 1997 г. М.: Изд-во стандартов. Стандартинформ, 2007 (взамен ГОСТ 10223-82, ГОСТ 246; переиздание – апрель 2007 г.).

6. ГОСТ 9128-2009. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. Введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 апреля 2010 г. № 62-ст в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 января 2011 г. М.: Стандартинформ, 2010.

7. ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия. Введ. 1991-01-01. М.: Госстандарт России. Изд-во стандартов, 1996.

8. Зубков А.Ф., Андрианов К.А., Любимова Т.И. Технология устройства покрытий нежесткого типа из асфальтобетонных горячих смесей: учеб. пособие. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2009. 80 с.

9. О республиканской программе «Модернизация и развитие автомобильных дорог в Чувашской Республике на 2006-2010 годы с прогнозом до 2025 года»: Постановление Кабинета Министров Чувашской Республики. Чебоксары, 2006.

THE FEATURES OF TECHNOLOGY OF PRODUCTION AND PLACING OF MODIFIED ASPHALT CONCRETE MIXTURES WITH WASTE OF CRUSHING OF LIMESTONE IN CHUVASH REPUBLIC

Malyanova Lidia Ivanovna, Salikhov Muhammet Gabdulhaevich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

It is described the proposed technology of production and placing of waste, modified by chemical production asphalt concrete mixture B- type with waste of crushing of soft limestone which was developed in a new composition.

Keywords: asphalt concrete mixture, modification, waste products of manufacture of aniline, soft limestone, crushing, technologies, manufacturing, placing

УДК 627.333:624.35

ПОЛУЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ПАТЕНТАХ НА ПОЛЕЗНЫЕ МОДЕЛИ ШПУНТОВЫХ СТЕНОК

Рязанов Владислав Степанович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
riazanovvc@volgatech.net

Рассматривается поиск новых технических решений шпунтовых стенок с помощью библиотеки поисковых приёмов.

Ключевые слова: техническое решение, шпунтовая стенка, библиотека поисковых приёмов

Введение. С учётом широкого распространения шпунтовых свай в самых различных областях строительства [1] разработка их эффективных решений представляется весьма актуальной. Изучение опыта проектирования и строительства сооружений с подпорными стенками подтверждает мнение, что гибкие стенки, используемые в качестве ограждений котлованов, в конструкциях причалов, береговых устоев мостов, шлюзов, ограждений для поддержания дорожных насыпей, обладают наилучшими показателями.

Цель работы – рассмотрение методики получения патентоспособных технических решений шпунтовой стенки.

Применяемые при проектировании шпунтовых стенок методы расчёта, основанные на классической теории давления грунта, предполагают наличие определённой картины перемещений, которая в действительности не наблюдается, что затрудняет поиск оптимального решения.

Наибольший эффект при оптимизации свай и других строительных конструкций может обеспечить решение конструкторско-изобретательской задачи с получением патентоспособной конструкции. Это возможно на основе применения известных физических эффектов и эвристических методов поиска новых технических решений, среди которых известны методы мозгового штурма (А. Осборн), синектика (У. Гордон), метод морфологического ящика (Ф. Цвики), семикратный поиск (Г. Буш), теория решения изобретательских задач – ТРИЗ (Г. Альтшуллер). В области строительства следует отметить также систематизацию массива поиска мягких конструкций гидротехнических сооружений с получением патентоспособных решений (Б.Н. Сергеев), работы А.Н. Половинкина по автоматизированному синтезу структур и оптимизации подпорных стенок [2, 3].

Решаемые задачи: разработка и реализация методики получения патентоспособных технических решений шпунтовых стенок. При проектировании шпунтовых стенок вопросы их совершенствования рассматриваются на примере получения новых, патентоспособных технических решений – патентов на полезную модель шпунтовой сваи – конструкции из металлического шпунта, заземлённого в нижней части в грунте, предназначенной для удержания грунта в призме обрушения за стенкой [4].

Техническое моделирование. Методика получения технического решения сваи предполагает преобразование исходной конструкции сваи (прототипа) на основе рекомендаций библиотеки поисковых приёмов [2, 3]. Эти приёмы были выявлены в результате анализа формул изобретений из различных отраслей техники и строительства, ранжированы по частоте их применения и могут быть использованы для преобразования прототипа в отдельности или в сочетаниях, в ручном или в автоматизированном режимах.

Наиболее эффективные из них предполагают:

- изменить форму конструкции, нарушить симметрию и наоборот, перейти от прямолинейных частей к криволинейным, от плоских поверхностей к сферическим;
- присоединить к прототипу детали, узлы, взятые из набора топологических типов деталей;
- сделать или устранить отверстия, полости в элементах конструкции;
- увеличить или уменьшить число одновременно действующих элементов конструкции;
- разделить конструкцию на части так, чтобы каждая часть была изготовлена из наиболее подходящего материала;
- использовать нити, тяги, плёнки, гибкие оболочки, пневмо- и гидроконструкции.

Техника эксперимента. Поиск новых технических решений по указанной методике может осуществляться квалифицированным специалистом с помощью ЭВМ или в ручном режиме, с последующей экспертной оценкой соответствия получаемых решений требованиям норм и возможного улучшения критериев оценки вариантов (функциональные, технологические, экономические и т.д.). При этом могут быть за-

фиксированы известные технические решения свай и варианты, обладающие патентоспособностью.

Интерпретация результатов. Путём преобразования существующего прототипа модели шпунтовой сваи на основе приёмов изменения формы сечения и присоединения нового элемента получено положительное решение на полезную модель. Формула полезной модели следующая: «Шпунтовая свая содержит корпус и соединительный элемент, отличающийся тем, что корпус выполнен в виде широкой сваи, которая в вертикальном сечении имеет ломаную форму в виде тупого угла, а соединительный элемент в виде перфорированного листа прикреплён с небольшим уступом от краёв корпуса» [5].

С помощью приёмов изменения формы и числа элементов получено техническое решение шпунтовой сваи, которая в вертикальном сечении имеет ломаную форму в виде тупого угла и соединительный элемент, отличающийся тем, что он выполнен в виде набора пластин, расположенных по высоте сваи с некоторым шагом и прикреплённых с небольшим отступом от краёв корпуса или в виде набора стержней арматуры, расположенных по высоте сваи с некоторым шагом и прикреплённых с небольшим отступом от краёв корпуса [6].

При анализе напряжённо-деформированного состояния шпунтовой металлической сваи выявлена значительная неравномерность в распределении изгибающих моментов и деформаций по длине сваи в соответствии с её расчётной схемой, что не обеспечивает эффективного использования несущей способности поперечного сечения сортамента свай определённого типоразмера. Для устранения этого недостатка предлагается в наиболее напряжённой части длины сваи изменить сечение сваи, используя приём присоединения к прототипу деталей, взятых из набора топологических типов; это решение нашло отражение в патенте на полезную модель [7] шпунтовой сваи: «Шпунтовая свая, включающая корпус, выполненный из стального прокатного сортамента, отличающаяся тем, что с внешней стороны корпуса с отступом от краёв на участке длины в зоне действия наибольшего изгибающего момента приварена пластина, увеличивающая момент сопротивления сечения сваи».

Подобный подход позволит существенно повысить эффективность решения задачи оптимизации и целенаправленно проводить поиск новых технических решений строительных конструкций.

Выводы

1. Предложена методика получения патентоспособных технических решений шпунтовых стенок.

2. Реализована методика получения технических решений шпунтовых стенок в патентах на полезную модель.

Список литературы

1. Совершенствование средств инженерно-экологического обустройства водохранилищ ГЭС / А.Г. Поздеев [и др.] // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 1. С.83-99.
2. Половинкин А.И., Алгоритмы оптимизации проектных решений / под ред. А.И. Половинкина. М.: Энергия, 1976.
3. Методы поиска новых технических решений / под ред. А.И. Половинкина. Йошкар-Ола: Маркнигоиздат, 1976. 192 с.
4. Справочник. Основания и фундаменты / под ред. Г.И. Швецова. М., 1991.

5. Рязанов В.С., Полетаев А.В. Шпунтовая свая // Патент на полезную модель №120425.2012. Бюл. №26.

6. Рязанов В.С., Дмитриев А.Е. Шпунтовая свая // Патент на полезную модель №127767.2013. Бюл. №13.

7. Рязанов В.С. Дмитриев А.Е. Шпунтовая свая // Патент на полезную модель №135662.2013. Бюл. № 35.

OBTAIN TECHNOCOL SOLUTIONS FOR UTILITY MODEL PATENTS SHEET PILING

Ryazanov Vladislav Stepanovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The problems of finding new TS (technical solutions) constructions methods based on the use of receptions of the decision engineering and inventive problem solving. The example of obtaining the design of sheet pile, to which patents are granted for a utility model.

Keywords: constructions structures; technical solutions; sheet pile; patent; engineering and inventive problems; utility model

УДК 625.765

ПРОЧНОСТЬ СЦЕПЛЕНИЯ ЛЬДА ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ С ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫМИ ДОБАВКАМИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ И ВРЕМЕНИ НАМОРАЖИВАНИЯ

*Савинцев Александр Валерианович, Васильев Денис Александрович,
Гилёва Юлия Александровна*

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
VeukovEV@volgatech.net

Выполнен краткий анализ мирового опыта борьбы с гололедообразованием и скользкостью на покрытиях автомобильных дорог. Приведены результаты изучения прочности сцепления льда на поверхности антигололедных и классических щебеночно-мастичных асфальтобетонных при различных времени и температурах намораживания. Особенностью противогололедных щебеночно-мастичных асфальтобетонных, в отличие от классических, является наличие в его структуре до 7 % (от масс. отсевов дробления) кристаллов хлористых солей NaCl. Получена математическая модель для определения прочности сцепления льда с поверхностью покрытий при различных условиях намораживания.

Ключевые слова: гололед, противогололедные материалы, зимнее содержание дорог, лёд

Введение. В настоящее время существуют различные методы борьбы с зимней скользкостью [1]. Наиболее широкое распространение, ввиду его относительной эффективности и простоты осуществления, получил комбинированный способ. Его суть заключается в посыпке дорожного полотна смесью из фрикционных материалов с противогололедными добавками. В качестве добавок применяют хлориды, ацетаты, карбамида и нитраты.

Поскольку жизненный цикл единичных посыпок на покрытиях оказывается сравнительно коротким, посыпки за зимний период приходится выполнять многократно. С одной стороны, эффективность и трудоемкость каждого мероприятия резко снижа-

ется, с другой – из-за этого повышается себестоимость данного способа борьбы с льдообразованием. Практически точно спрогнозировать момент наступления устойчивых отрицательных температур и начало процесса льдообразования на поверхности покрытия конкретной дороги невозможно, силы адгезии льда развиваются достаточно большие. Удаление ледяной корки механическим способом становится проблематичным. С целью уменьшения сил адгезии льда к поверхности покрытия М.Г. Салихов и А. В. Исаев [2] предложили вводить соли NaCl и CaCl_2 или их смеси в состав щебеночно-мастичных асфальтобетонов (ЩМА). За счет постоянного присутствия в структуре, в том числе на поверхности покрытия, противоморозные соли растворяются в воде дождевых осадков и образуют незамерзающий раствор. Это значительно ослабляет силы сцепления снежно-ледяных отложений с поверхностью покрытия. В настоящей работе излагаются некоторые результаты исследования данного метода для борьбы с льдообразованием на покрытиях из щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА). ЩМА с добавками противоморозных солей назовем антигололедными (АЩМА), они изготавливаются из антигололедных щебеночно-мастичных смесей (АЩМАС).

Цель работы – изучить прочность сцепления льда на поверхности антигололедных и классических щебеночно-мастичных асфальтобетонов при различных времени и температурах намораживания.

Решаемые задачи: 1) изготовление образцов АЩМА с различным содержанием противоморозной соли; 2) намораживание льда при различных условиях; 3) определение усилий, необходимых для сдвига кольца замороженного льда относительно АЩМА образцов; 4) обработка полученных данных; 5) разработка многофакторной математической модели, позволяющей определить прочность сцепления льда с покрытием из АЩМА при различных условиях намораживания.

Техника эксперимента. В табл. 1 представлен состав исследуемых образцов АЩМА. Стандартные образцы ЩМА изготавливались по ГОСТ 12801-98 [3].

Таблица 1

Состав исследуемых образцов АЩМА

№ состава	Количество противоморозной добавки, % от песчаной части ЩМА	Процентное содержание, %					
		Гранитный щебень М 1200 фр. 5-20 мм	Отсевы дробления щебня М 1200	Минеральный порошок	Стабилизирующая добавка Viatop-66	NaCl	Битум вязкий нефтяной БНД 90/130
1	0	77,0	12,20	10,8	0,4	0,00	6,00
2	1	77,0	12,08	10,8	0,4	0,12	6,00
3	3	77,0	11,83	10,8	0,4	0,37	6,00
4	5	77,0	11,59	10,8	0,4	0,61	6,00
5	7	77,0	11,35	10,8	0,4	0,85	6,00

Антигололедный ЩМА отличается от классического ЩМА наличием в его структуре до 7 % (от масс. отсево дробления) кристаллов хлористых солей (NaCl , CaCl_2 или их смесей).

Поскольку стандартных методов и приборов для определения антигололедных свойств асфальтобетона не существует, оценка полученного эффекта производилась по показателям прочности сцепления льда с поверхностью асфальтобетона в результате испытания на отрыв кольца льда от образца щебеночно-мастичного асфальтобетона.

Подготовленные для испытания стандартные цилиндрические щебеночно-мастичные асфальтобетонные образцы исследуемого состава (диаметром и высотой по 71,4 мм) устанавливаются в специальные емкости с плоским дном, в которые залива-

ется вода таким образом, чтобы уровень воды над нижним торцом образца составлял 2-3 см, и помещаются в холодильную камеру для намораживания кольца льда на боковой поверхности, где образцы выдерживаются в течение расчетного времени при расчетной температуре. Для испытания на адгезию используется механический универсальный пресс УП-7.

Прочность сцепления льда с поверхностью щебеночно-мастичного асфальтобетонного образца определялся по формуле [1]

$$A = K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{P_{сдв}}{S_{л}}, \text{ МПа}, \quad (1)$$

где K_1 – коэффициент увеличения нагрузки прессы ($K_1 = 51,4$); K_2 – коэффициент перевода кГс/см^2 в МПа ($K_2 = 0,1$); $P_{сдв}$ – усилие сдвига кольца льда относительно образца, равное суммарной массе нагружаемой пластины и насыпанного на нее песка, кГс ; $S_{л}$ – площадь контакта льда с поверхностью асфальтобетонного образца:

$$S_{л} = \pi \cdot d \cdot h_{л.ср.}, \text{ см}^2, \quad (2)$$

где d – диаметр стандартного цилиндрического образца ($d = 7,14 \text{ см}$); $h_{л.ср.}$ – средняя высота кольца льда на стандартном цилиндрическом образце.

На рис. 1 приведены результаты проведенных исследований.

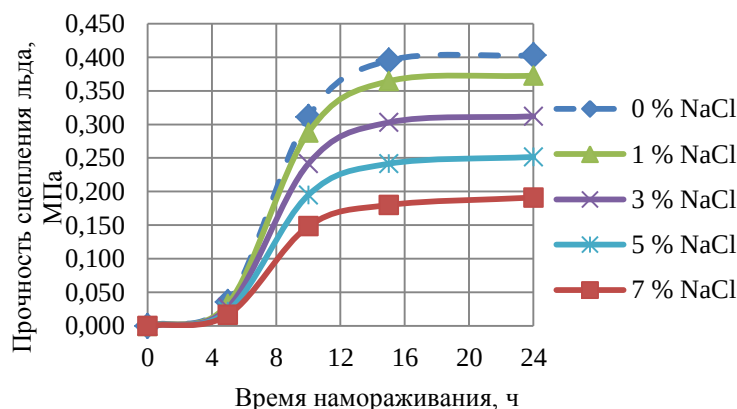


Рис. 1. Зависимость прочности сцепления льда с поверхностью образцов из АЩМА с содержанием NaCl 0, 3, 5, 7 % от массы отсевов дробления при различном времени намораживания

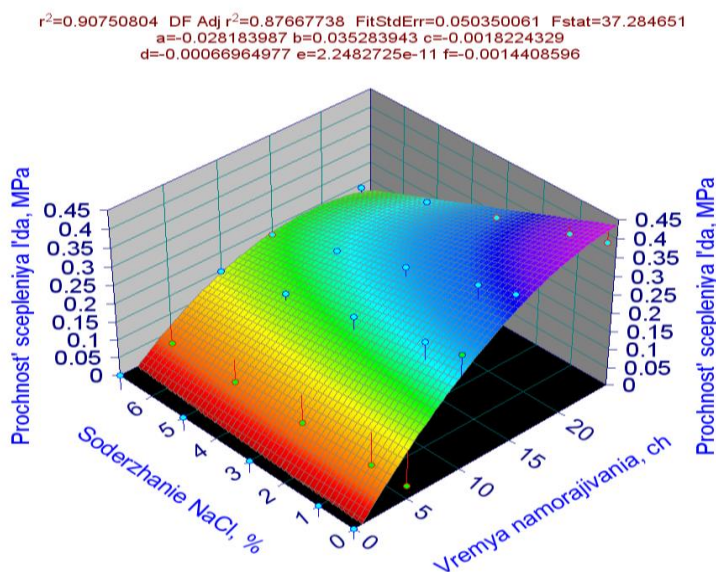


Рис. 2. Поверхность отклика

Интерпретация результатов по полученным зависимостям приведена ниже.

Разработка математической модели. Разработана математическая модель с применением программы Table Curve 3D. Модель представлена в виде полинома

$$z = a + b \cdot x + c \cdot y + d \cdot x^2 + e \cdot y^2 + f \cdot x \cdot y, \quad (3)$$

где z – прочность сцепления льда, МПа; x – время намораживания льда, ч; y – содержание соли в структуре ЦМА, % от массы отсево-в дробления.

$$z = -0,0282 + 0,0353 \cdot x + 0,0018 \cdot y + 0,0007 \cdot x^2 - 0,0014 \cdot x \cdot y.$$

Проверка адекватности модели выполнена с помощью критерия Фишера. Расчетное значение критерия – 1,32, что меньше табличного (2,55) при уровне значимости 0,05. Таким образом, можно сделать заключение, что модель адекватна.

Выводы

Полученные результаты позволяют утверждать, что с увеличением времени намораживания прочность сцепления растет, причем значительный рост замечен в первые 5-12 часов. В дальнейшем рост незначителен.

Прочность сцепления льда с поверхностью образцов АЦМА в 2,1-2,2 раза меньше, чем с поверхностью ЦМА, независимо от времени намораживания.

Построенная математическая модель позволяет определить прочность сцепления льда с поверхностью покрытий из ЦМА и АЦМА (3, 5 и 7 % соли) при времени намораживания от 0 до 24 часов при температуре -10 °С. Модель адекватна.

Список литературы

1. Салихов М.Г., Исаев А.В., Веюков Е.В. Антигололедные щебеночно-мастичные асфальтобетоны: монография. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2012. 130 с.
2. Салихов М.Г., Исаев А.В. Стойкость щебеночно-мастичных асфальтобетонов с противоморозными добавками // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 1(8). С. 53-58.
3. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. 01.01.99 г. Пост. Госстроя России от 24.11.98 г. № 16. М., 1998. 39 с.

DURABILITY OF COUPLING OF ICE OF THE CRUSHED-STONE AND MASTIC ASPHALT CONCRETE WITH DEICING ADDITIVES AT VARIOUS TEMPERATURES AND NAMORAZHIVANIYA'S TIME

Savintsev Alexander Valerianovich, Vasilyev Denis Aleksandrovich, Gilyova Yulia Aleksandrovna

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The short analysis of world experience of fight against icing on coverings of highways is made. Results of studying of durability of coupling of ice are given in a surface of deicing and classical crushed-stone and mastic asphalt concrete at various time and temperatures. Feature of deicing crushed-stone and mastic asphalt concrete from classical is existence in its structure to 7% (from masses. crushing eliminations) crystals of chloride NaCl salts. The mathematical model for determination of durability of coupling of ice with a surface of coverings is received under various conditions.

Keywords: ice, deicing materials, winter maintenance of roads, ice

УДК 625.855

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА И УКЛАДКИ МОДИФИЦИРОВАННОГО ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА С ОТХОДАМИ ДРОБЛЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКОВ В ПОКРЫТИЕ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Салихов Мухаммет Габдулхаевич, Иливанов Виктор Юрьевич

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
Salihov@volgatech.net

Рассмотрены особенности технологии производства и укладки в покрытие модифицированных щебеночно-мастичных асфальтобетонов с отсевами дробления известняков. Представлены результаты исследований щебеночно-мастичных асфальтобетонов различных составов.

Ключевые слова: щебеночно-мастичный асфальтобетон, отсевы дробления известняков, модификация, технология производства и укладки

Введение. Исследования и практика последних лет показывают, что направленное улучшение свойств битума путем его модификации является одним из наиболее эффективных способов улучшения физико-механических и технологических свойств и повышения долговечности асфальтобетонов. Однако применение специально выпускаемых модификаторов часто приводит к удорожанию строительства из-за их дороговизны. Следовательно, возникает необходимость в расширении номенклатуры относительно недорогих модификаторов из местных источников, в частности из числа отходов местной химической промышленности.

В проведенных ранее исследованиях были выявлены отходы местной химической промышленности Чувашской Республики – кубовые остатки производства Новантокс 8 ПФДА, которые могут быть использованы для модификации щебеночно-мастичного асфальтобетона с отсевами дробления известняков (ЩМА с ОДИ) пониженной себестоимости. С их использованием разработан состав, позволивший повысить значения коэффициента водостойкости, прочности при 20 °С и высокую коррозионную устойчивость [1] при сохранении остальных показателей в пределах требований ГОСТ 3015-2003 [2]. При этом достигнуто также сокращение требуемого для приготовления ЩМА с ОДИ расхода битума.

Модифицированные ЩМА смеси с ОДИ для верхнего слоя покрытий лесовозных автомобильных дорог приготавливают в соответствии с главой 10 СП-78.13330.2012 [3] с определенными изменениями в технологии. Смеси приготавливают на серийно-выпускаемых смесителях принудительного перемешивания, обеспечивающих необходимую точность дозирования всех компонентов.

Цель работы – исследование особенностей технологий приготовления и укладки модифицированного щебеночно-мастичного асфальтобетона с отсевами дробления известняков со сниженным содержанием битума.

Решаемые задачи: 1) провести специальные опыты для уточнения давлений и времени укатки и температур укладки модифицированного ЩМА с ОДИ; 2) разработать схемы приготовления и укладки модифицированного ЩМА с ОДИ.

Аналитическое моделирование. При устройстве верхнего слоя асфальтобетонного покрытия работает комплексный поток, который состоит из двух специализированных потоков.

Работа первого специализированного потока организована на АБЗ, она состоит из следующих операций: приготовление смеси и транспортировка ее на дорогу.

Работа второго специализированного потока организована на строящемся участке автодороги, она включает следующие операции: подгрунтовка основания жидким битумом или расплавленным вязким битумом (битумной эмульсией), подвозка, разгрузка смеси в бункер-питатель асфальтоукладчика и распределение ЩМА и уплотнение слоя катками.

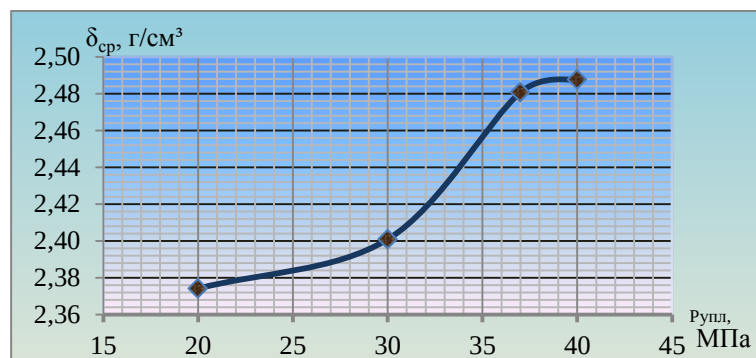
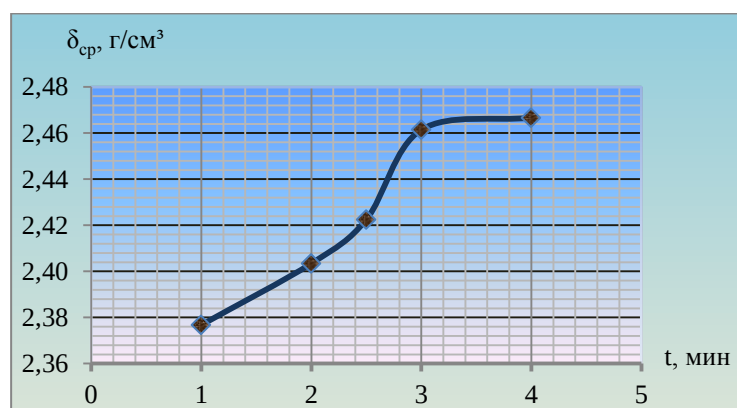
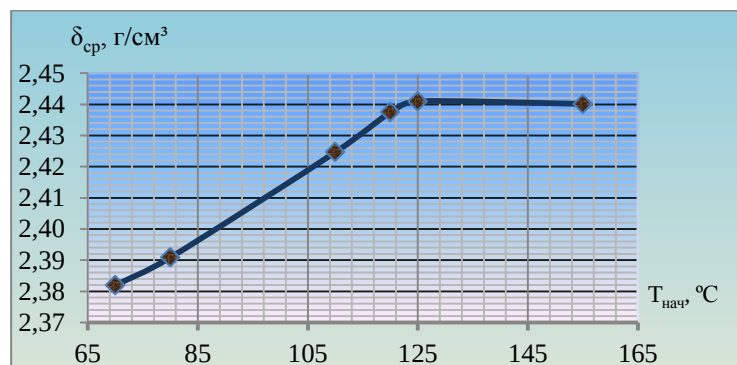
На АБЗ расчетное количество модификатора (кубовых остатков производства Новантокс 8 ПФДА) из цистерны при помощи дозирующего центробежного подается в расходную цистерну. Одновременно туда же перекачивается разогретый до рабочей температуры и обезвоженный битум, где происходит равномерное перемешивание составляющих. Оттуда модифицированное вяжущее через дозатор перекачивается в асфальтобетоносмеситель, где готовится ЩМА-смесь по традиционной технологии. В результате введения в ЩМА модификатора облегчается процесс перемешивания компонентов и обеспечивается однородность смеси. Это будет способствовать повышению качества смеси при неизменности продолжительности процесса перемешивания.

Составы исследованных образцов следующие, % по массе: щебень гранитный М 1200 фр. 5...20 мм – 72,0; отсеvy дробления известняков М 400 – 28,0; битум вязкий нефтяной БНД 90/130 – 6,5...7,0 и 5,6...5,8 (от массы минеральной части сверх 100 %); кубовые остатки производства Новантокс 8 ПФДА – 0 и 0,5...0,6 (от массы битума). Испытываемые стандартные цилиндрические образцы диаметром и высотой по 71,4 мм готовились по стандартной методике [3] методом формования в стандартных формах при задании требуемых значений продолжительности и удельных давлений и температуры начала формования. Введение добавок отхода осуществлялось в предварительно разогретый до +120...130 °С вязкий битум при непрерывном перемешивании до получения однородной массы (в течение нескольких секунд).

Отформованные образцы после извлечения из форм хранились при комнатной температуре в течение суток и подвергались испытаниям по стандартным методикам, в частности у них определяли значения средней плотности и прочности при сжатии при +20 °С.

При этом температура нагрева минеральных материалов оставалась неизменной 155...160 °С, а рассматриваемая температура применяемого модифицированного вяжущего по ГОСТ 31015 [2] была снижена. Часть результатов этих экспериментов представлена на графиках (рис. 1-3).

Анализ приведенных в таблице и на графиках (рис. 1-3) данных показывает, что образцы смесей ЩМА с ОДИ при добавлении незначительного количества (0,5...1,0 % от массы битума) кубовых остатков производства Новантокс 8 ПФДА уплотняются до требуемой плотности: а) при меньших удельных давлениях (37 МПа), т.е. при уплотнении их в покрытии можно использовать катки с меньшей массой; при этом время укатки не изменяется; б) при меньших температурах начала уплотнения смеси (не выше 120 °С), что предопределяет и снижение температуры её приготовления.

Рис. 1. График зависимости значений средней плотности от давления уплотнения (при $t_{упл}=3$ мин.)Рис. 2. График зависимости значений средней плотности от времени уплотнения (при $p_{упл}=37$ МПа)Рис. 3. График зависимости значений средней плотности от температуры начала уплотнения (при $p_{упл}=37$ МПа и $t_{упл}=3$ мин.)

Процессы транспортирования и приемки модифицированных ЩМА смесей с ОДИ на месте укладки принципиально не отличаются от традиционного способа.

Укладку горячих щебеночно-мастичных смесей следует осуществлять при температуре окружающего воздуха не ниже 5 °С. В соответствии с СП-78.13330.2012 [3], нижележащее основание должно быть сухим, чистым, ровным и обеспечивать хорошее сцепление с укладываемым слоем. До начала основных работ на поврежденных участках предусматривается устранение дефектов путем заделки выбоин, санации трещин, фрезерования поверхности под проектную отметку, устройства выравнивающего слоя и т.п. по всем правилам ремонта.

Спецификой ЩМА классического состава является, в частности, более высокая, по сравнению с асфальтобетонами классического состава, температура приготовления. Это связано с температурной чувствительностью смеси и с тем, что ЩМА укладывается в основном тонкими слоями, склонными к быстрому охлаждению. В ЩМА с ОДИ из-за замены минерального порошка и дробленого песка отсевами дробления известняков наблюдается возрастание требуемого расхода вяжущего. При введении в него кубовых остатков производства Новантокса 8 ПФДА удалось снизить расход битума до 5,8 % от массы минеральной части, т.е. уменьшить его до меньших значений, чем для ЩМА классических видов [4].

Проблемой традиционных горячих асфальтобетонных смесей является их склонность к сегрегации на всех технологических переделах. В связи с этим следует отметить, что у смесей ЩМА отсутствуют признаки сегрегации в процессе приготовления, хранения, транспортирования и укладки.

Транспортирование смесей ЩМА к месту укладки осуществляется большегрузными автосамосвалами, оборудованными тентами для предотвращения остывания смесей.

Подготовительные работы перед укладкой верхнего слоя покрытия состоят из обычного набора операций: выравнивания, очистки и подгрунтовки поверхности нижележащего слоя. Технологии укладки и уплотнения смесей из щебеночно-мастичного асфальтобетона выполняются серийно выпускаемым оборудованием (асфальтоукладчиками и катками), но вместе с тем имеет свои специфические особенности.

Предварительное уплотнение осуществляется лишь трамбуящим брусом с частотой 800...1000 ударов/мин. и ходом бруса 4 мм. Рабочий орган асфальтоукладчика устанавливается выше проектной отметки поверхности покрытия с учетом припуска на уплотнение, составляющего 5...10 % от толщины слоя. В процессе укладки асфальтоукладчиком, оснащенным более тяжелым и длинным рабочим органом высокого уплотнения, наблюдаются случаи выдавливания избыточного вяжущего на поверхность покрытия. Эта особенность должна быть учтена при выборе уплотняющего рабочего органа и режимов его работы при укладке ЩМА.

После прохода асфальтоукладчика поверхность покрытия имеет требуемую фактуру с равномерно распределенным каменным материалом без раковин, трещин, разрывов сплошности и других дефектов.

Во избежание раздавливания крупных зерен каменного материала использование вибрации на катках недопустимо. В связи с высоким содержанием асфальтового вяжущего для уплотнения покрытия из ЩМА нельзя использовать катки на пневмошинах, так как смесь получается более липкой. Для предотвращения залипания смеси ЩМА на вальцы необходимо обеспечить хорошее орошение вальцов катков смесью воды с керосином в соотношении 1:1.

Уплотнение верхнего слоя ЩМА толщиной 5 см при использовании двух асфальтоукладчиков производится отрядом из 3...6 средних катков с массой 8...10 т – по три за каждым асфальтоукладчиком. Каждый из катков совершает по шесть проходов по одному следу со скоростью 5...6 км/ч. Учитывая ускоренное остывание слоя ЩМА, уплотнение осуществляется при наибольшей температуре смеси, при максимально возможном в процессе укатки приближении катков к асфальтоукладчикам короткими захватками по 50...60 м.

Подкатку модифицированной смеси ЦМА с ОДИ так же, как и классической щебеночно-мастичной смеси, следует выполнять легкими катками массой 6-8 т без вибрации, чтобы не нарушить его каркасную структуру.

В процессе укладки смеси должны контролироваться: температура смеси в кузове каждого самосвала; толщина устраиваемого слоя покрытия; ровность и поперечные уклоны; ширина покрытия; качество устройства продольных и поперечных сопряжений полос; соблюдение заданных режимов работы асфальтоукладчиков и катков; качество ЦМА в покрытии.

Выводы. Результаты проведенных исследований показали, что при приготовлении модифицированного ЦМА с ОДИ оптимальное давление уплотнения равно 37...38 МПа, время уплотнения – 3 минуты, а оптимальная температура начала уплотнения 120 °С и выше. Модифицированный ЦМА с ОДИ может изготавливаться при использовании серийно выпускаемого стандартного оборудования для приготовления и укладки. Приготовление модифицированной смеси ЦМА с ОДИ можно осуществлять при более пониженных температурах – 130 °С и выше.

Список литературы

1. Иливанов В.Ю., Салихов М.Г., Малянова Л.И., Криворучко С.В., Эндюшкин В.П., Филиппов В.М. Способ получения щебеночно-мастичного асфальтобетона: Патент на изобретение № 2494988 от 28.12.2011. МПК С 04 В 26/26 (опубл. 10.10.2013. Бюл. № 28).
2. ГОСТ 31015–2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетоны щебеночно-мастичные. Технические условия. Введ. 2003–01–01. М.: ГУП ЦПП, 2003. 21 с.
3. СП 78.13330.2012. Свод правил. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*. Дата введения 2013-07-01.
4. Иливанов В.Ю., Салихов М.Г. Исследование долговечности модифицированного щебеночно-мастичного асфальтобетона при действии агрессивной среды // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 2. С. 38-45.

FEATURES OF TECHNOLOGY OF PRODUCTION AND PILING OF THE MODIFIED MACADAM-MASTIC BITUMINOUS CONCRETE WITH WASTES OF CRUSHING OF LIMESTONES IN COVERAGE OF HIGHWAYS

Salikhov Muhammet Gabdulhaevich, Livanov Victor Yrevich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

In the article the features of technology of production and piling in coverage of the modified macadam-mastic bituminous concrete are considered with sifting out of crushing of limestones in modern terms. The results of the special researches of different mineral compositions are rotined, and also different maintenance of bitumen for determination of technological indexes of this type of bituminous concrete mixture.

Keywords: *mastic asphalt concrete (SMA), sifting out of crushing of limestone (ODI), modification, technology of production and piling*

УДК 625.844

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛИМЕРНОЙ ДОБАВКИ NIKOFLOK-K В СОСТАВЕ СМЕСИ ИЗ ОТСЕВОВ ДРОБЛЕНИЯ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ОБРАБОТАННЫХ ЦЕМЕНТОМ

Салихов Мухаммет Габдулхаевич¹, Васильев Андрей Юрьевич²

¹ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола

²ООО «Испытательный центр Дорсервис», Россия, Санкт-Петербург
SalihovMG@volgatech.net

Предлагается способ повышения характеристик трещиностойкости и морозостойкости материалов из отсевов дробления каменных пород, обработанных цементом, с целью использования данных материалов для устройства бесшовных покрытий автомобильных дорог III-V технических категорий.

Ключевые слова: полимерная добавка, обработанные материалы, трещинообразование, морозостойкость, деформационные швы, покрытие

Введение. В последние годы при ремонте, реконструкции и строительстве автомобильных дорог низких категорий все большее распространение находят технологии, предусматривающие укрепление грунтов и обработку строительных материалов минеральными вяжущими (чаще всего цементом). Данные технологии позволяют максимально эффективно использовать строительные материалы, имеющиеся в непосредственной близости от места производства работ, уменьшая при этом транспортные издержки. Исчезает необходимость покупки дорогостоящих каменных материалов. Все это значительно снижает стоимость строительства автомобильных дорог, что в условиях недостатка финансирования играет огромную роль [1].

Для защиты оснований автомобильных дорог от воздействия внешних нагрузок и факторов окружающей природной среды, а также для обеспечения комфортных условий передвижения транспортных средств, поверх оснований необходимо устраивать покрытия. Покрытия автомобильных дорог чаще всего создают из асфальтобетона, а на дорогах низких категорий – из строительных материалов, обработанных органическим вяжущим. Материалы, полученные с применением минеральных вяжущих, для устройства покрытий автомобильных дорог применяют крайне редко. Причиной тому служит тот факт, что такие материалы очень восприимчивы к воздействию факторов окружающей природной среды: в частности, выявлена их склонность к трещинообразованию под действием суточного и сезонного перепада температуры. Эта особенность вызывает необходимость нарезки деформационных швов в покрытиях автомобильных дорог, устроенных из материалов, содержащих минеральное вяжущее, вследствие чего усложняется процесс строительства и содержания дорог. Кроме того, деформационные швы снижают уровень комфорта при движении автотранспорта.

Принимая во внимание тот факт, что на более чем 300 тыс. километрах дорог в России отсутствует монолитное покрытие, можно с уверенностью сказать, что решение данной проблемы и внедрение технологий устройства покрытий автомобильных дорог из отходов дробления каменных материалов, укрепленных цементом, приведет

к значительному экономическому эффекту и будет способствовать повышению качества покрытий всей сети автомобильных дорог России.

Одним из путей решения проблем, связанных с низкой трещиностойкостью и морозостойкостью покрытий из обработанных цементом материалов, является разработка и внедрение полимерных добавок, участвующих в процессе гидратации цемента и модифицирующих структуру конечного материала [2]. Аспирантами Поволжского государственного технического университета была, в частности, испытана и оценена эффективность отечественной полимерной добавки Nicoflok-K, разработанной в 2014 году и ранее нигде не применявшейся.

Цель работы – оценить эффективность полимерной добавки Nicoflok-K при использовании ее в составе смеси обработанных цементом отсеков дробления каменных материалов.

Решаемые задачи: 1) исследование эффективности жидкой полимерной добавки Nicoflok-K для повышения трещиностойкости и морозостойкости материалов, обработанных портландцементом; 2) обоснование необходимости применения отходов дробления каменных материалов, обработанных портландцементом, для устройства бесшовных покрытий автомобильных дорог.

Моделирование. В ходе проведения работ по исследованию свойств материалов был использован динамический имитационный натурный метод моделирования. Для определения характеристик материалов брались образцы, сформованные в лабораторных условиях, представляющие собой модель слоя дорожной одежды. Помимо испытаний в проектный срок (28 суток) были проведены испытания образцов и в промежуточные сроки, что позволило создать динамическую модель, отображающую процесс набора прочности.

Техника эксперимента. В ходе эксперимента испытывались отходы дробления каменных материалов нескольких месторождений и камнедробильных заводов. Отсевы дробления подвергались обработке портландцементом Пикалевского цементного завода и различным количеством жидкой полимерной добавки Nicoflok-K.

Изготовление и испытание образцов осуществлялось в соответствии с ГОСТ 23558-94 «Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами для дорожного и аэродромного строительства» [3]. Исследование морозостойкости материалов осуществлялось в соответствии с ГОСТ 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» [4, 8].

Для испытаний на морозостойкость использовались цилиндрические образцы с диаметром и высотой 100 мм. Работы по определению морозостойкости образцов начинались после достижения ими проектной прочности, т.е. по прошествии 28 суток твердения в нормальных условиях. В промежуточные сроки (на 3 и 7 сутки) определялись прочность образцов на сжатие и их водонасыщение [5].

После проведенных испытаний произведена обработка полученных результатов испытаний и осуществлено сравнение характеристик материалов. Определена зависимость характеристик получаемых материалов от содержания в составе смеси полимерной добавки Nicoflok-K.

Интерпретация результатов. Результаты испытаний гранитного отсева (карьер «Кузнечное», Ленинградская обл., Приозерский р-он, п. Кузнечное), укрепленного 8% цемента ПЦ500Д0, приведены в таблицах 1-2.

Таблица 1

Результаты определения прочностных характеристик

Содержание добавки Nicroflok-K, % от массы заполнителя	Величина водонасыщения, %	Средняя плотность, г/см ³	Прочность при сжатии в водонасыщенном состоянии, МПа	Прочность на растяжение при изгибе, МПа	Коэффициент трещиностойкости
<i>3 сутки</i>					
-	0,95	2,50	7,03		
0,1% Nicroflok-K	0,77	2,49	7,57		
0,5% Nicroflok-K	0,68	2,50	9,59		
<i>7 сутки</i>					
-	0,72	2,51	9,19		
0,1% Nicroflok-K	0,51	2,51	10,53		
0,5% Nicroflok-K	0,50	2,51	12,91		
<i>28 сутки</i>					
-	1,47	2,51	11,70	1,96	0,168
0,1% Nicroflok-K	0,62	2,52	12,95	2,18	0,168
0,5% Nicroflok-K	0,59	2,51	14,37	2,50	0,174

Таблица 2

Результаты испытания на морозостойкость

Содержание добавки Nicroflok-K, % от массы заполнителя	Марка по морозостойкости	Потеря прочности после 25 циклов, %
-	F25	24
0,1% Nicroflok (K)	F25	23
0,5% Nicroflok (K)	F25	20

Результаты испытаний известнякового отсева (карьер «Горки», Ленинградская обл., Кингисеппский р-он), укрепленного 6% цемента ПЦ400Д20, приведены в таблицах 3-4.

Таблица 3

Результаты определения прочностных характеристик

Содержание добавки Nicroflok-K, % от массы заполнителя	Величина водонасыщения, %	Средняя плотность, г/см ³	Прочность при сжатии в водонасыщенном состоянии, МПа	Прочность на растяжение при изгибе, МПа	Коэффициент трещиностойкости
<i>3 сутки</i>					
-	2,95	2,39	4,07		
0,1% Nicroflok (K)	2,09	2,40	4,06		
0,5% Nicroflok (K)	1,27	2,40	4,02		
<i>7 сутки</i>					
-	2,03	2,35	4,41		
0,1% Nicroflok (K)	1,97	2,36	4,89		
0,5% Nicroflok (K)	1,00	2,37	5,24		
<i>28 сутки</i>					
-	3,20	2,38	4,66	0,40	0,086
0,1% Nicroflok (K)	1,94	2,38	5,74	0,51	0,089
0,5% Nicroflok (K)	0,95	2,38	6,86	0,67	0,098

Таблица 4

Результаты испытания на морозостойкость

Содержание добавки Nicroflok-K, % от массы заполнителя	Марка по морозостойкости	Потеря прочности после 15 циклов, %
-	F15	22
0,1% Nicroflok (K)	F15	22
0,5% Nicroflok (K)	F15	19

Результаты испытаний образцов из отсевов дробления каменных материалов, укрепленных портландцементом, показывают, что введение в состав смеси жидкой полимерной добавки Nicroflok-K приводит к повышению прочностных характеристик материала, снижению величины водонасыщения, повышению трещиностойкости материала, а также снижает потерю прочности материала при его циклическом замораживании-оттаивании.

Необходимость устройства деформационных швов в покрытиях из материалов, обработанных цементом, определяются для каждого конкретного случая с учетом используемых материалов, конструкции дорожной одежды и климатических условий района строительства.

В качестве примера приведен расчет для покрытия толщиной 20 см из отсевов дробления щебня (карьера «Горки»), обработанного 6% цемента ПЦ400Д20 с 0,5% полимерной добавки Nicroflok-K. Район строительства – Ленинградская область.

Согласно методическим рекомендациям по проектированию жестких дорожных одежд [6] необходимость устройства швов расширения определяется исходя из допустимых температурных напряжений сжатия $\sigma_t^{\text{доп}}$ (МПа), которые для оценочных расчетов принимаются равными:

$$\sigma_t^{\text{доп}} = 0,031\sqrt{E\gamma h}, \quad (1.1)$$

где γ – плотность материала плиты, т/м³; h – толщина плиты, м; E – модуль упругости материала, МПа.

$$\sigma_t^{\text{доп}} = 0,031 \times \sqrt{900 \times 2,38 \times 0,1} = 0,642 \text{ МПа}.$$

Из условия сохранения прочности бетона в зоне швов $\sigma_t^{\text{доп}}$ не должно превышать $2B_{tb}$, где B_{tb} – класс прочности на растяжение при изгибе.

$$\begin{aligned} \sigma_t^{\text{доп}} &\leq 2B_{tb} \\ 2B_{tb} &= 2 \cdot 0,67 = 1,34 \text{ МПа} \\ \Rightarrow \sigma_t^{\text{доп}} &= 0,642 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (1.2)$$

Из условия прочности швы расширения устраивают, если допустимые напряжения $\sigma_t^{\text{доп}}$ будут меньше фактических σ_{t+}^{ϕ} (МПа), определяемых по формуле

$$\sigma_{t+}^{\phi} = \alpha E (T_{\text{макс}} - T_{\text{исх}}), \quad (1.3)$$

где α – коэффициент линейной температурной деформации материала, 1/°C; $\alpha = 0,000010/^\circ\text{C}$; $T_{\text{макс}}$, $T_{\text{исх}}$ – максимальная температура укрепленного материала в течение года и температура в момент укладки, °C.

Для Санкт-Петербурга согласно СП 131.13330.2012 [7] $T_{\text{макс}} = +25^\circ\text{C}$ (с обеспеченностью 0,98).

В качестве исходной температуры принята минимально допустимая положительная температура воздуха на момент устройства покрытия, $T_{\text{исх}} = +1^\circ\text{C}$.

$$\begin{aligned} \sigma_{t+}^{\phi} &= 0,000010 \times 900 \times (25 - 1) = 0,216 \text{ МПа} \\ \sigma_{t+}^{\phi} &< \sigma_t^{\text{доп}} \\ 0,216 &< 0,642. \end{aligned}$$

Устройство швов расширения не требуется.

Фактические напряжения, возникающие в обработанном материале при понижении температуры:

$$\sigma_{t-}^{\phi} = \alpha E (T_{исх} - T_{min}), \quad (1.4)$$

где α – коэффициент линейной температурной деформации материала, $1/^{\circ}\text{C}$; $\alpha = 0,000010/^{\circ}\text{C}$; T_{min} , $T_{исх}$ – минимальная температура укрепленного материала в течение года и температура в момент укладки, $^{\circ}\text{C}$.

Для Санкт-Петербурга согласно СП 131.13330.2012 [7] $T_{min} = -32^{\circ}\text{C}$ (с обеспеченностью 0,98).

В качестве исходной температуры принимается максимальная температура воздуха на момент устройства покрытия, $T_{исх} = +25^{\circ}\text{C}$.

$$\sigma_{t-}^{\phi} = 0,000010 \times 900 \times (25 - (-32)) = 0,513 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{t-}^{\phi} < \sigma_t^{\text{доп}} \\ 0,513 < 0,642.$$

Устройство швов сжатия не требуется.

Результаты расчета показывают, что при устройстве покрытий автомобильных дорог из отсевов дробления каменных пород, обработанных цементом, возможна конструкция, для которой отсутствует необходимость устройства деформационных швов.

Выводы

1. Доказано положительное влияние жидкой полимерной добавки Nicoflok-K на прочностные характеристики отходов дробления каменных материалов, укрепленных портландцементом, в частности на прочность при сжатии, прочность на растяжение при изгибе и коэффициент трещиностойкости.
2. Доказано положительное влияние жидкой полимерной добавки Nicoflok-K на морозостойкость материалов, полученных из отходов дробления каменных материалов, укрепленных портландцементом.
3. Доказана возможность устройства бесшовных покрытий из отсевов дробления каменных пород, обработанных цементом.

Список литературы

1. Чернякевич В.И. Ресурсосберегающая технология строительства лесных дорог // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2010. № 3. С. 54-60.
2. Максимов А.Т., Собко Г.И. Применение полимерной добавки Nicoflok для укрепления и стабилизации грунтов. М.: ВТУ Спецстроя России, 2006.
3. ГОСТ 23558-94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия. Введ. 01.01.1995. М. Госстрой России.
4. ГОСТ 10060-2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости; Введ. 01.01.2014. М. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации.
5. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Введ. 01.01.91. М. Государственный строительный комитет СССР.
6. Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд. Взамен ВСН 197-91. Введ. 03.12.2003. М. Министерство транспорта РФ.
7. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99*. Введ. 01.01.2013. М. Министерство регионального развития РФ: 2013.

8. Гусев Н.К. Исследование прочности слоёв конструкции дорожной одежды из материалов, укрепленных полимерно-минеральной композицией «NicoFloK» // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 2. С. 52-58.

EFFICIENCY ASSESSMENT OF THE NIKOFLOK-K POLYMERIC ADDITIVE AS A PART OF MIX FROM ELIMINATIONS OF STONE CRUSHING, PROCESSED BY CEMENT

Salihov Muhammet Gabdulhaevich¹, Vasilev Andrey Urevich²

¹Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

²LLC «Test center Dorservice», Russia, Saint-Petersburg

Is offered the way of increase of characteristics of crack and frost resistance for materials made from stone eliminations, processed by cement, for the purpose of use these materials for the device of seamless pavement for III-V roads technical categories.

Keywords: *polymeric additive, processed materials, crack resistance, frost resistance, deformation seams, pavement*

УДК 625.85

**ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК НА ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ВЯЗКИХ БИТУМОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ
ПОКРЫТИЯХ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ**

Смоленцева Наталья Анатольевна, Вайнштейн Виктор Мейлехович

ФБГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
VajnshtejnVM@volgatech.net

Приведены результаты исследования физико-механических свойств битумов марки БНД 60-90 с добавкой модификатора «СБС-Кратон» в количестве 4-8 % по массе. Показано, что введение добавки способствует перестройке дисперсной структуры битума в более вязкий тип.

Ключевые слова: *битум, добавка кратон, полимерное битумное вяжущее*

Введение. В условиях постоянного роста интенсивности движения, нагрузок на ось проблема повышения эксплуатационной надежности дорожных битумов в покрытиях в нашей стране приобретает все большую остроту. На сегодняшний день исследование характеристик битума, возможностей улучшения его качества с помощью добавок является весьма актуальной.

Цель работы – исследование физико-механических свойств битумов с учётом влияния добавки кратон, применяемой в асфальтобетонных покрытиях в условиях Республики Марий Эл.

Решаемые задачи: 1) исследовать температуру размягчения битумов с добавкой тип кратон; 2) проанализировать изменения температуры хрупкости битумов с этой добавкой; 3) исследовать ее влияние на растяжимость и эластичность битумов.

Результаты эксперимента. Нами проведены исследования в лаборатории ГКУ «Марийскавтодор» практического применения битумов, модифицированных полимером типа СБС в количестве 4-8%. В дальнейшем будут изучаться реологические свойства асфальтобетонов на основе битумов, содержащих от 4 до 8% полимера типа «СБС – Кратон».

Полимер SBS (полистирол-полибутадиен-полистирол) – термопластичный синтетический каучук, характеризующийся молекулами с каучуковым полибутадиеновым средним блоком, линейным или разветвленным, с твердыми полистирольными концевыми блоками [3].

Применение анионной полимеризации позволяет синтезировать блоки с точно спроектированными молекулярными весами и контролировать их структуру. Разнообразие молекулярных весов, структур полимеров и условий полимеризации предоставляют возможность получения широкого спектра марок полимеров для целевых областей применения.

При модификации битума полимеры SBS впитывают масляные компоненты битума в объеме, превышающем до 10 раз собственный объем. Таким образом, размер сети, формируемой соединенными между собой областями стирольных домен, увеличивается, расширяясь по всему объему вяжущего. Это обеспечивает эластичность битума в более широком температурном диапазоне, что снижает вязкость при высокой и хрупкость при низкой температурах [1, 2].

За основу для исследований был принят битум марки БНД 60/90, который удовлетворял требованиям ГОСТ [5]. Целью работы явилось определение изменения физико-механических свойств битума при добавке модификатора полимера СБС – Кратон и сравнение их с базовым битумом. Результаты испытаний полимерно-битумного вяжущего приведены в таблице и на графиках (рис. 1-7).

Результаты испытаний полимерно-битумного вяжущего в зависимости от изменения добавки «kraton»

Наименование показателей	ГОСТ 22245-90 БНД 60/90	БНД 60/90+ 4% kraton	БНД 60/90+ 6% kraton	БНД 60/90+ 8% kraton
Пенетрация 25°C, 0,1 мм	64	45	40	33
Эластичность 25°C, %	0	86,7	87,6	88,5
Растяжимость 25°C, см	55	67,7	57,2	43,5
Температура размягчения, °C	47	66	72	74
Температура хрупкости, °C	-15	-23	-25	-28



Рис. 1. График зависимости изменения температуры размягчения от расхода добавки СБС- Кратон в вязкий битум БНД 60/90

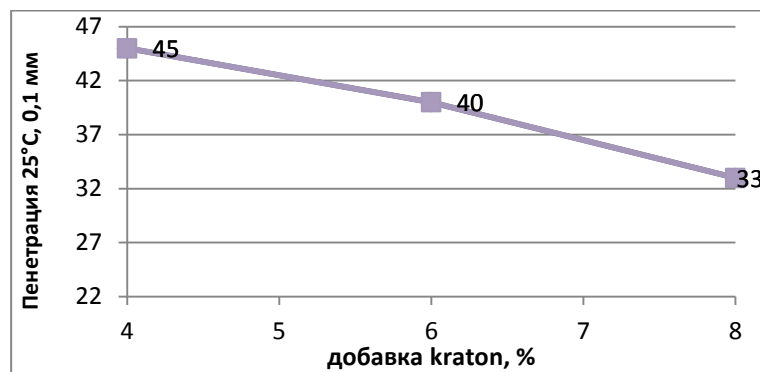


Рис. 2. График зависимости изменения пенетрации от расхода добавки SBS-Кратон в вязкий битум БНД 60/90

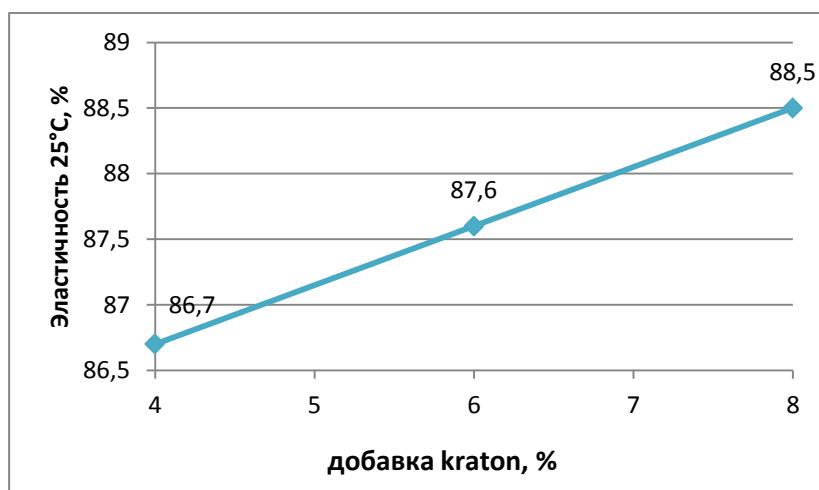


Рис. 3. График зависимости изменения эластичности от расхода добавки SBS-Кратон в вязкий битум БНД 60/90

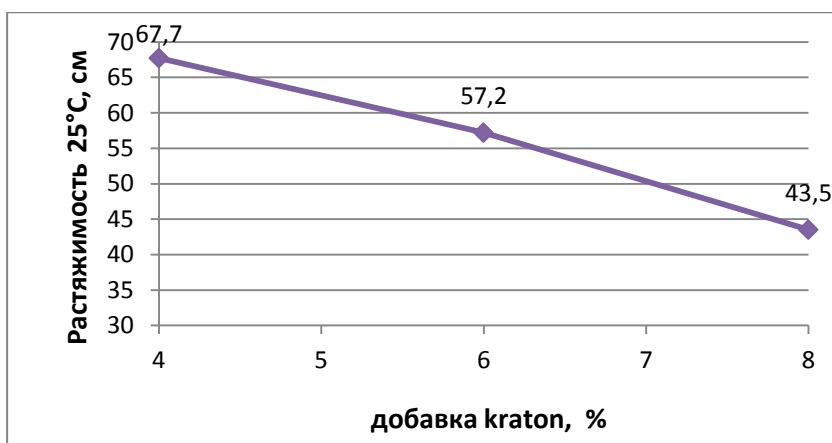


Рис. 4. График зависимости изменения растяжимости от расхода добавки SBS-Кратон в вязкий битум БНД 60/90

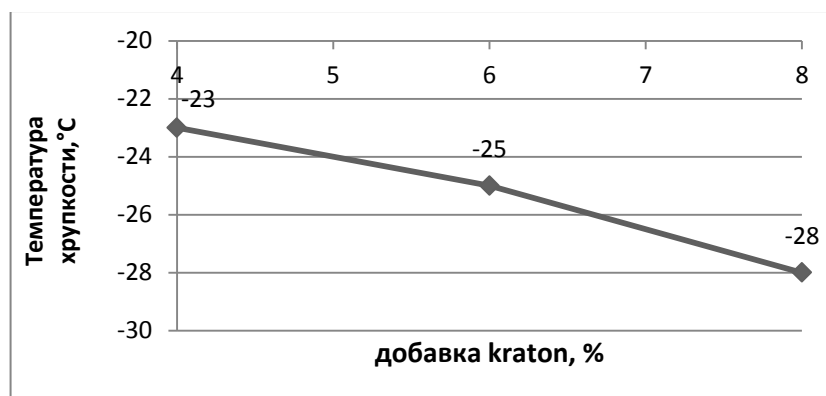


Рис. 5. График зависимости изменения температуры хрупкости от расхода добавки СБС-Кратон в вязкий битум БНД 60/90

Выводы

1. Анализ графиков показал, что добавление в битум полимера «СБС – Кратон» влияет на значения параметров свойств битума следующим образом:

- уменьшает показатели пенетрации при 25 °C в 1,12 раза;
- растяжимость битума уменьшается в 1,56 раза;
- эластичность возрастает в 1,02 раза;
- температура размягчения увеличивается в 1,12 раза;
- температура хрупкости увеличивается в 1,22 раза.

Изменение добавки «кратон» на 2% с 4 до 8 показали, что рационально будет использовать битум с добавлением 4%.

2. Результаты исследований свидетельствуют, что происходит улучшение показателей свойств полимербитумного вяжущего, особенно по температуре размягчения, температуре хрупкости и эластичности.

Список литературы

1. Золотарев В.А. Наука и техника в дорожной отрасли. М.: Транспорт, 2010. 23 с.
2. Руденская И.М., Руденский А.В. Органические вяжущие для дорожного строительства. М.: Транспорт, 1984. 209 с.
3. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. М.: Транспорт, 1993. 75 с.
4. Гезенцвей Л.Б., Горельшев Н.В. Дорожный асфальтобетон. М.: Транспорт, 1985. 87 с.
5. ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Введ. 1991-01-01. М.: Госстандарт СССР, 1996. 5 с.
6. Иливанов В.Ю., Салихов М.Г. Исследование долговечности модифицированного щебёночно-мастичного асфальтобетона при действии агрессивной среды // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование 2013. № 2. С. 38-42.

FEATURES OF INFLUENCE OF ADDITIVES ON TECHNICAL PROPERTIES OF THE VISCOUS BITUMENS APPLIED IN ASPHALT CONCRETE COVERINGS IN THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF MARI EL

Smolentseva Natalya Anatolyevna, Weinstein Victor Meylekhovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Results of research of physic-mechanical properties of bitumens of the BND 90-130 brand with an additive of the SBS-Kraton modifier in number of 4-8% on weight are given. Introduction of an additive promotes reorganization of disperse structure of bitumen in more viscous type.

Keywords: *researches of properties of bitumen, additive kraton, the polymeric bituminous knitting*

УДК 625.765

ГИДРОФОБИЗАЦИЯ ПОКРЫТИЙ ДОРОГ КАК СПОСОБ БОРЬБЫ С ЗИМНЕЙ СКОЛЬЗКОСТЬЮ

*Федоров Илья Александрович, Гилёва Юлия Александровна,
Гаспарян Овик Ашотович*

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
VeukovEV@volgatech.net

Выполнен краткий анализ мирового опыта борьбы с гололедообразованием и скользкостью на покрытиях автомобильных дорог. Приведены некоторые результаты изучения антигололедных свойств покрытий, обработанных различными гидрофобизаторами.

Ключевые слова: гололед, противогололедные покрытия, гидрофобизаторы

Введение. В настоящее время основными способами борьбы с гололедообразованием и зимней скользкостью на автомобильных дорогах являются фрикционный и комбинированные способы [1]. Последний получил наибольшее распространение ввиду его эффективности и основывается на посыпке дорожного полотна смесью фрикционных материалов с противогололедными реагентами. В качестве реагентов используют хлориды, ацетаты, карбамиды, нитраты щелочных металлов и др. Чаще всего применяют хлориды, т.к. они являются относительно недорогими и доступными.

За последние десятилетия появились новые способы, предупреждения и ликвидации скользкости и уменьшения вредного воздействия на окружающую среду. Они направлены и сводятся к обеспечению повторного использования противогололедных растворов, конвективному оттаиванию льда на покрытии, добавлению в противогололедное покрытие ингибиторов коррозии, замене хлористых солей на менее агрессивные вещества, распределению на покрытии специальных антиобледенителей (в частности кремнийорганических жидкостей) и т.д. [2-5]. В этом направлении наиболее прогрессивными выглядят методы использования антигололедных материалов внутри структуры материалов покрытия и обработки их поверхности гидрофобными веществами [3].

Для создания гидрофобизированной поверхности материалов покрытий могут использоваться различные кремнийорганические жидкости и эмульсии и др. [4, 5]. Гидрофобизация препятствует образованию остаточной пленки воды на покрытии, а при образовании льда снижается его сцепление с гидрофобизированным покрытием.

В настоящее время рынок строительных материалов предлагает большой ассортимент гидрофобизаторов: «Аквафоб», «Розакор», «Кристазол», «Спектр» и др. Стоимость таких гидрофобизаторов – от 150 до 380 руб./л. В основном они представляют собой раствор кремнийорганической жидкости в растворителе. Производители отмечают, что применение гидрофобизатора оказывает эффективное действие на строительные материалы: придает поверхности материала гидрофобные свойства; увеличивают морозо- и коррозионную стойкость; придает грязеотталкивающие, антиадгезионные и необледеневающие свойства; создает антибактериальную защиту; служит для снятия поверхностных электростатических и других электронапряжений; защищает

здания и строительные конструкции от атмосферных воздействий на длительное время. Интерес с точки зрения придания покрытиям автомобильных дорог антигололедных свойств представляют необледевающие свойства таких гидрофобизаторов. Например, компания «Аквасил» утверждает, что обработка покрытия «Разакором» позволит снизить прочность сцепления льда в 28 раз [6]. Мы попытаемся убедиться в этом, изучив противогололедные свойства покрытий автомобильных дорог из органических бетонов, обработанных гидрофобизатором.

Цель работы – изучить прочность сцепления льда на поверхности обработанных гидрофобизаторами щебеночно-мастичных асфальтобетонов.

Решаемые задачи: 1) изготовление асфальтобетонных образцов; 2) намораживание льда; 3) определение усилий, необходимых для сдвига кольца намороженного льда относительно образцов; 4) обработка полученных данных.

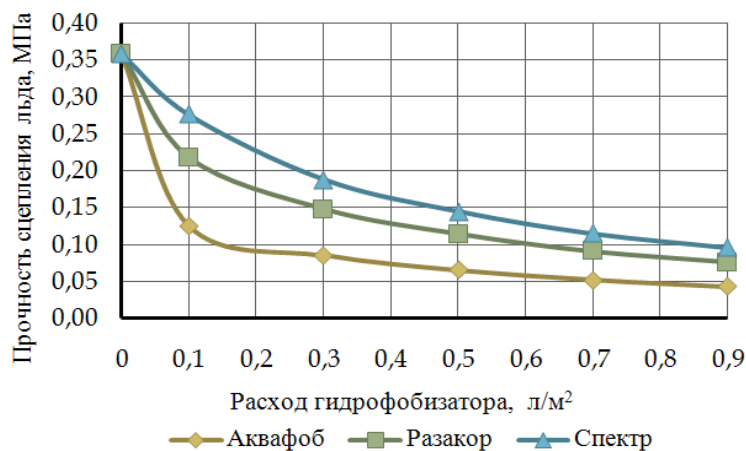
Техника эксперимента. В качестве материала покрытия рассматривается щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА). Исходный состав образцов ЩМА следующий (% по масс.): гранитный щебень М 1200 фр. 5-20 мм – 77, дробленый песок – 12,2, известняковый минеральный порошок – 10,8, битум вязкий нефтяной БНД 90/130 – 6,0, стабилизирующая добавка Viator-66 – 0,4. Составы смесей ЩМА подобраны согласно требованиям ГОСТ 31015-2002 [7]. Стандартные образцы ЩМА изготавливались по ГОСТ 1280-98 [8]. Перед уплотнением на поверхность смеси распылялся гидрофобизатор из расчета 0,1-0,9 л/м². Исследовались влияние гидрофобизаторов «Аквафоб», «Разакор» и «Спектр».

Прочность сцепления льда с поверхностью образцов устанавливалась по авторской методике путем расчета силы сдвига по формуле [9]

$$A_{\text{л}} = \frac{P_{\text{сдв}} \cdot K_{\text{с}}}{S_{\text{л}}}, \text{ МПа},$$

где $P_{\text{сдв}}$ – усилие сдвига кольца льда относительно поверхности образца, Н; $S_{\text{л}}$ – площадь контакта льда с поверхностью асфальтобетонного образца, м²·10⁻⁶; $K_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий структуру льда.

Результаты исследования представлены на рисунке.



Графики зависимости прочности сцепления льда с поверхностью образцов в зависимости от вида и количества применяемого гидрофобизатора

Анализ графиков показывает, что обработка покрытий гидрофобизаторами позволяет снизить прочность сцепления льда. Это объясняется тем, что образующаяся после обработки гидрофобизирующая пленка снижает краевой угол смачивания поверхности водой.

Выводы

1. Обработка покрытий образцов из щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей гидрофобизаторами позволяет снизить прочность сцепления льда в 3-8 раз.
2. Наиболее эффективным из рассмотренных гидрофобизаторов является «Аквафоб».
3. Рекомендуемый расход гидрофобизатора – 0,3-0,5 л/м².

Список литературы

1. Салихов М.Г., Исаев А.В., Веюков Е.В. Антигололедные щебеночно-мастичные асфальтобетоны: монография. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2012. 130 с.
2. Кудрявцев А.В. Применение антигололедного покрытия на автомобильных дорогах в условиях Урала: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. 19 с.
3. Салихов М.Г. Влияние крупности зерен обработанной битумом противоморозной соли на её растворимость и адгезию льда к поверхности асфальтобетона // Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов: межвуз. сб. научных статей. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2008. С. 217–221.
4. Котухов А.Н. Антигололедный асфальтобетон для дорожного строительства: дис. ... канд. техн. наук. Белгород: БГТУ, 2005. 198 с.
5. Евгеньев И.Е., Савин В.В. Защита природной среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1986. 238 с.
6. Гидрофобизатор-модификатор кремнийорганический «Разакор» [Электронный ресурс]. URL: <http://гидрофобизатор.рф/разакор> (дата обращения: 03.04.2014).
7. ГОСТ 31015-2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетоны щебеночно-мастичные. Технические условия. Введен в действие 01.05.03. М., 2002. 22 с.
8. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. 01.01.99 г. Пост. Госстроя России от 24.11.98 г. №16. М., 1998. 39 с.
9. Салихов М.Г., Исаев А.В. Стойкость щебеночно-мастичных асфальтобетонов с противоморозными добавками // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 1(8). С. 53-58.

GIDROFOBIZATION COVERINGS OF ROADS AS WAY OF FIGHT AGAINST THE WINTER SLIPPERING

Fedorov Ilya Aleksandrovich, Gilyova Yulia Aleksandrovna, Gasparyan Ovik Ashotovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The short analysis of world experience of fight against icing and slippery on coverings of highways is made. Some results of studying of deicing properties of coverings processed by various gidrofobizater are given.

Keywords: *ice, deicing coverings, gidrofobizater*

УДК 628.87

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ

Хинканин Леонид Александрович, Хинканин Александр Павлович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
HinkaninAP@volgatech.net

Приведена оценка влияния солнечной радиации на формирование микроклимата в зданиях средней полосы России (на примере г. Йошкар-Олы). Использование средств математического моделирования позволяет определить параметры микроклимата помещений, ориентированных на разные стороны горизонта, и оценить затраты энергии на создание и поддержание требуемых параметров микроклимата.

Ключевые слова: *инсоляция, температура воздуха, температура поверхности ограждающих конструкций, количество теплоты*

Введение. Энергосбережение и повышение эффективности является важнейшей задачей во всех отраслях хозяйства [1]. Рассматривая проблему энергосбережения и повышения эффективности жилых и общественных зданий принято, как правило, говорить о зимнем периоде эксплуатации. Считается, что летний период, не предполагающий работу систем отопления, не влияет на энергетическую эффективность зданий. В то же время мы являемся свидетелями такого бурно развивающегося процесса, как кондиционирование помещений в летний период. Согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [2] проблему эксплуатации зданий в летний период следует рассматривать применительно к зданиям, эксплуатируемым в районах со средней температурой июля 21°C и выше. Значения средних температур, которые приведены в СП 20131.13330.2012 «Строительная климатология» [3], говорят о том, что для большинства территорий средней полосы России (в 29 областях и республиках), эти температуры находятся в пределах 17,3-20,4°C. Только в двух областях (Волгоградской и Саратовской) температуры июля превышают обозначенное выше значение. Казалось бы, и проблемы не существует. Однако повседневная практика свидетельствует о том, что с каждым годом все большее количество зданий и отдельных помещений оборудуется системами кондиционирования воздуха. В устойчивые периоды повышения температуры наружного воздуха значительно возрастает и потребление электроэнергии. С ростом требований населения страны к качественным показателям параметров воздушной среды в помещениях пренебрегать возрастающим потреблением электроэнергии на нужды кондиционирования опрометчиво. Вторым существенным фактором, определяющим возрастание потребления электроэнергии в летний сезон, являются увеличивающиеся объемы строительства общественных зданий с применением легких ограждающих конструкций. Наряду с целым рядом достоинств этих сооружений они имеют весьма существенный недостаток – скорый (измеряемый несколькими часами) отклик параметров внутренней среды на изменение температуры наружного воздуха и инсолирование наружной поверхности ограждающих конструкций.

Цель работы – провести анализ погодных условий в июле в г. Йошкар-Оле. Разработать алгоритм, позволяющий оценивать температуру на наружной поверхности

произвольно ориентированных ограждающих конструкций. Представить величину потоков теплоты, попадающих в помещения через светопрозрачные и непрозрачные ограждающие конструкции. Оценить влияние ориентации и наклона к горизонту ограждающих конструкций на величины тепловых потоков, формирующихся на поверхности ограждений.

Решаемые задачи: 1) обосновать последовательность отбора, обработки, анализа исходных данных; 2) создать алгоритм оценки продолжительности инсоляции и тепловой нагрузки на произвольно ориентированные ограждающие конструкции; 3) провести количественную оценку теплоты, попадающей в помещения через малоинерционные ограждающие конструкции; 4) проанализировать и дать интерпретацию результатов моделирования с целью дальнейшего обоснования принимаемых в ходе проектирования зданий конструктивных решений.

Отбор и анализ исходных данных. Известно, что многолетние данные по интересующим нас параметрам погоды для большинства районов России размещены в справочниках [4] и на сайте [5]. Каждые три часа метеостанции страны регистрируют параметры погоды. Эта информация позволяет построить кривые, описывающие суточные колебания температуры воздуха, изменение облачности и скорости ветра на площадке размещения строительного объекта. Ежегодно в Йошкар-Оле наблюдается от 1 до 3 недель, в течение которых температура наружного воздуха поднимается выше $+25^{\circ}\text{C}$. Так, на рис. 1 представлен ход изменения температуры наружного воздуха в г. Йошкар-Оле в июле 2011 (сплайн - $A1(t)$), 2012 (сплайн - $A2(t)$) и 2013 (сплайн - $A3(t)$).

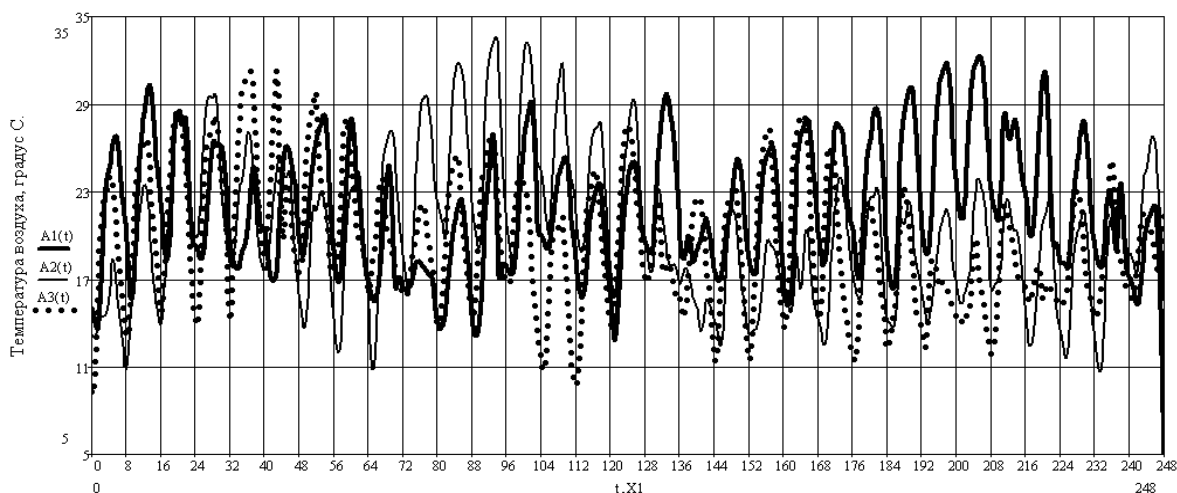


Рис. 1. Суточные изменения температуры наружного воздуха в июле:
($A1(t)$ – 2011 г); ($A2(t)$ – 2012 г); ($A3(t)$ – 2013 г)

Шкала абсцисс графика – шкала суток июля. Каждые сутки объединяют 8 интервалов времени по 3 часа в каждом. Температуры воздуха июля в эти годы колебались в пределах $10\text{--}34^{\circ}\text{C}$ (шкала ординат). В июле 2011 наблюдалось 19 дней, когда воздух прогревался выше $+25^{\circ}\text{C}$, а общая продолжительность по времени, в течение которого воздух прогревался выше 21°C составила 375 часов. В июле 2012 г. температура воздуха поднималась свыше 21°C в течение 270 часов, в июле 2013 г. – в течение 240 часов. Наибольшие свои значения температура воздуха в г. Йошкар-Оле достигает в районе 15 часов, а минимальные – в 4 часа утра. Невозможно игнорировать столь зна-

чительные интервалы времени, в течение которых в помещениях, ориентированных на юг, юго-запад и запад, параметры микроклимата резко ухудшаются. Совместное воздействие высоких температур и инсоляции на малоинерционные конструкции ведет к перегреву помещений.

Тепловая нагрузка на ограждающие конструкции. Для того чтобы оценить влияние перечисленных факторов на микроклимат помещения, необходимо определить местоположение (азимут и высоту подъема над горизонтом) солнца в любой момент суток в течение года. Такие алгоритмы приводятся в ряде работ [6, 7]. Воспользовавшись ими, получаем возможность определить интенсивность солнечных тепловых потоков. Данный подход реализован в среде MatCAD, что позволило определить изменение тепловых потоков и температур на поверхности ограждающих конструкций. Так, на рис. 2а представлены кривые, описывающие величины теплового потока, приходящегося на ограждающую конструкцию площадью 1 м^2 в день летнего солнцестояния (171 сутки года - 21 июля). Азимут этих поверхностей 225° (юго-запад). Угол их наклона к горизонту 45° , 60° и 90° (первые две поверхности – ограждения мансард, последняя поверхность – вертикальная стена). Максимальный поток приходится на поверхность с углом наклона к горизонту 45° . При этом в 13 часов максимальная интенсивность потока достигает 970 Вт/м^2 (в условиях безоблачного неба). Для двух других поверхностей эта величина потока составляет 917 Вт/м^2 и 674 Вт/м^2 соответственно. Суммарное количество энергии, приходящейся на 1 м^2 ограждений 22 июня составит 7,8 кВт; 7,1 кВт и 4,8 кВт на поверхности с углом их наклона к горизонту 45° , 60° и 90° .

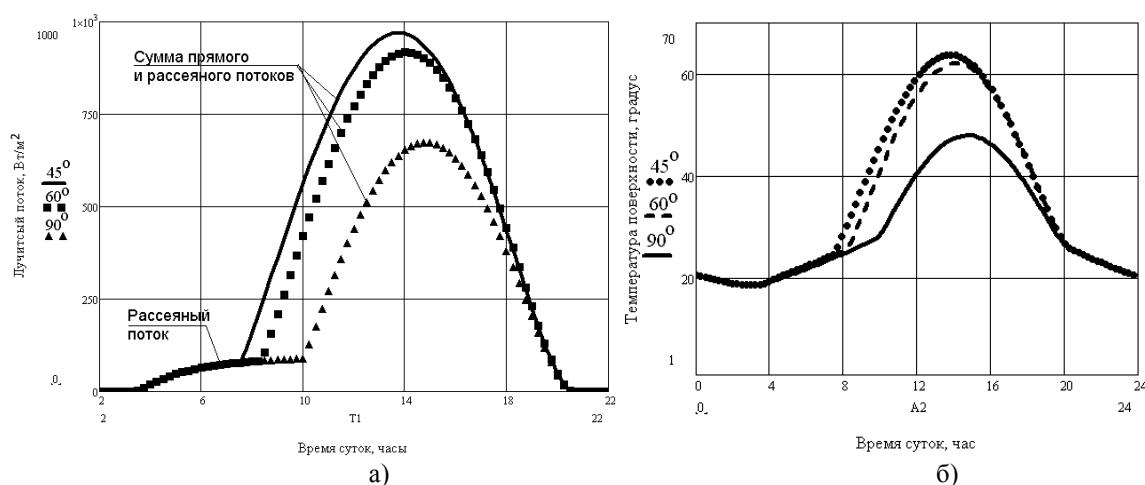


Рис. 2. Интенсивность теплового потока на ограждающие конструкции, ориентированных на юго-запад (азимут - 225°) и углом наклона к горизонту 45° , 60° и 90° (а); изменение температуры на тех же поверхностях в течение суток (б)

Температура на поверхности этих ограждающих конструкций является функцией энергии инсоляции, коэффициента поглощения, температуры воздуха и скорости ветра, влияющей на конвективный теплообмен. На рис. 2б представлен ход изменения температуры на ранее рассмотренных поверхностях. Для вертикальной поверхности (стены) коэффициент поглощения принят равным 0,6 (характерен для бетонов и силикатного кирпича). Для наклонных поверхностей мансард этот коэффициент принят равным 0,8 (что характерно для кровельных материалов). Для мансард с углом наклона

на ограждающих поверхностях в 45° температура на них поднимается до 64°C . В утренние часы (около 4 часов) температура поверхностей снижается до $18,5^{\circ}\text{C}$. В дальнейшем происходит перенос теплоты, обусловленный разностью температур на наружной и внутренней поверхности ограждения. Очевидно (рис. 2б), что при поддержании температуры воздуха в помещении на уровне $+20^{\circ}\text{C}$ этот температурный градиент может достигать 40°C в ограждающих конструкциях мансард и 27°C – в вертикальных конструкциях.

Светопрозрачные заполнения (окна и фонари) вносят еще более значительный вклад в перегрев помещений. Часть солнечной энергии оконные заполнения отражают и поглощают. Еще большую долю энергии окна пропускают в помещения. Количество поглощенной энергии зависит от массивности переплетов и загрязнения стекол. Площадь переплетов в площади оконных проемов составляет 10%. Загрязнение остекления понижает светопрозрачность окон и учитывается соответствующими коэффициентами. Так, для вертикальных окон этот коэффициент равен $\tau = 0,7$; для наклонных $\tau = 0,55$. Часть энергии, проходящей в помещения, зависит от коэффициента светопропускания стекла, который в свою очередь зависит от угла падения света. В работе Андерсона [8] приведен график, связывающий коэффициент светопропускания k с углом падения света на стекло φ . Эта зависимость трансформирована нами в выражение (1), что позволило ввести его в разработанный алгоритм.

$$k = -6 \times 10^{-8} \varphi^4 + 6,9 \times 10^{-6} \varphi^3 - 3 \times 10^{-4} \varphi^2 + 0,0047 \varphi + 0,8564. \quad (1)$$

Величина достоверности аппроксимации составила $R^2 = 0,9991$. При этом появилась возможность оценить количество солнечной энергии, попадающей в помещения через оконные проемы. На рис. 3а представлена интенсивность солнечной энергии, проникающей в помещения через световой проем площадью 1 м^2 , ориентированный на юг (азимут 180°). Численные значения этой интенсивности достигают 544 Вт/м^2 , 807 Вт/м^2 и 886 Вт/м^2 для окон с наклоном к горизонту 90° , 60° и 45° соответственно.

Для окон, ориентированных на юго-запад (азимут 225°), с теми же углами наклона потоки энергии составят 635 Вт/м^2 , 866 Вт/м^2 и 882 Вт/м^2 соответственно (рис. 3б).

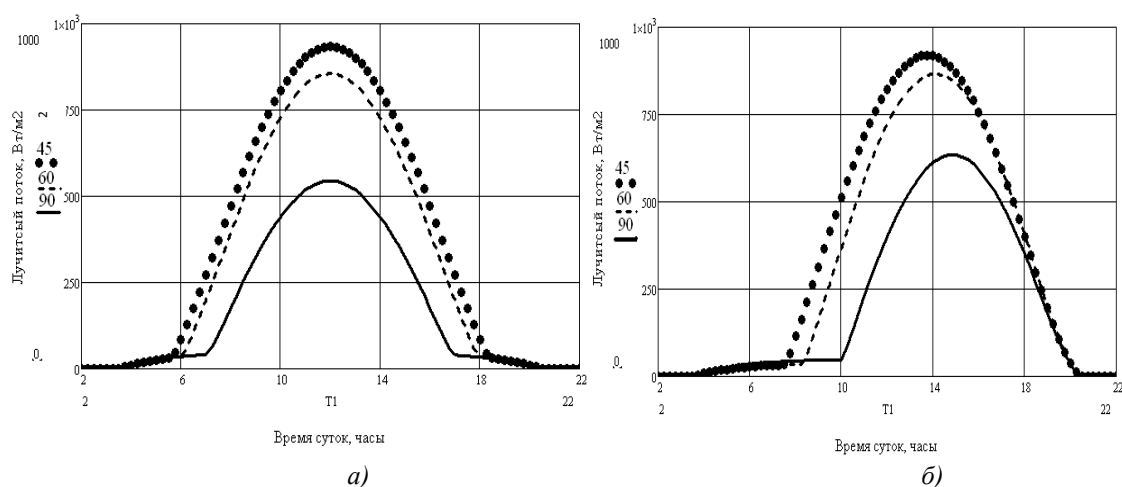


Рис. 3. Интенсивность теплового потока, попадающего в помещение через окна: а) ориентированные на юг (азимут 180°) и углом наклона к горизонту 45° , 60° и 90° ; б) на юго-запад (азимут 225°)

Интенсивность и общее суточное количество солнечной энергии, проникающей в помещения в 171-й день года (22 июня), приведено в таблице.

Интенсивность и общее суточное количество солнечной энергии

Угол наклона окна к горизонту			Угол наклона окна к горизонту		
45°	60°	90°	45°	60°	90°
Количество солнечной энергии, проникающей через 1 м ² окна в помещение, кВт			Количество солнечной энергии, проникающей через окна в помещение площадью 18 м ² , кВт		
Ориентация фасада здания – юг (азимут 180°)					
7,2	6,3	3,5	20,9	18,3	10,2
Ориентация фасада здания – юг-запад (азимут 225°)					
7,2	6,4	4,1	20,9	18,6	11,9

Период наиболее интенсивной инсоляции находится в пределах 13-15 часов и на 1-2 часа опережает максимум суточных температур наружного воздуха.

Выводы

Поддержание комфортных температур в помещениях зданий в климатических условиях г. Йошкар-Олы (где наблюдаются несколько устойчивых периодов протяженностью до 8 дней каждый с наружными температурами, превышающими +21°С) требует либо устройства кондиционирования, либо солнцезащитных устройств.

Получены данные математического моделирования инсоляционных тепловых потоков, воздействующих на различно ориентированные ограждающие конструкции зданий.

Показано, что на формирование параметров микроклимата в помещениях зданий существенное влияние оказывает солнечная радиация.

Определены численные оценки температур и потоков теплоты, формирующихся на ограждающих конструкциях под воздействием инсоляции.

Показано, что при оценке класса энергоэффективности зданий необходимо учитывать затраты на климатизацию помещений в летний период эксплуатации.

Список литературы

1. Егоров А. В. Инерционный метод оценки энергетической эффективности гусеничных лесных машин // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 2 (12). С. 55-60.
2. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. М.: НИИСФ РАСН, 2012. 96 с.
3. СП 20131.13330.2012 Строительная климатология. М.: НИИСФ РАСН, ФБГУ ГГО им. А.И. Воейкова, 2012. 109 с.
4. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6. Вып. 29. Госкомитет СССР по гидрометеорологии. Верхневолжское территориальное управление по гидрометеорологии. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 582 с.
5. Архив погоды [Электронный ресурс] // Погода и климат. Режим доступа <http://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения 21. 04. 2014).
6. Канонович Э.В., Мороз В.И. Общий курс астрономии: учебное пособие / под ред. В.В. Иванова. Изд. 2-е, испр. М.: Едиториал УРСС, 2004. 544 с. (Классический университетский учебник).
7. Абалакин В.К., Краснорылов И.И., Плахов Ю.В. Геодезическая астрономия и астрометрия: справочное пособие. М.: Картгеоцентр – Геодезииздат, 1996. 435 с.

8. Андерсон Б. Солнечная энергия (Основы строительного проектирования) / пер. с англ. А.Н. Анисимова; под ред. Ю.Н. Малевского. М.: Стройиздат, 1982. 375 с.

HEAT CLIMATE OF THE BUILDINGS AT YEAR TERM OF THE USAGES

Hinkanin Leonid Aleksandrovich, Hinkanin Alexander Pavlovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The Presented of the effects of solar radiation on the formation of microclimate in buildings in central Russia (for example, the city of Yoshkar-Ola).

Keywords: *insulation, air temperature, surface temperature walling*

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ. ИНЖЕНЕРИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 627.882 + 532.522

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СТРУЙ В КОНСТРУКЦИЯХ ЛЕСТНИЧНЫХ РЫБОХОДОВ

Введенский Олег Германович, Зарницын Андрей Юрьевич

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
VvedenskyOG@volgatech.net

Рассмотрена проблема совершенствования конструкций лестничных рыбоходов с помощью применения гидравлических струй. Дано теоретическое обоснование использования гидравлических струй для пропуска рыбы из нижнего бьефа в верхний бьеф. Описана суть конструктивной модернизации лестничных рыбоходов. Приведены краткие результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: *гидроузел, водохранилище, рыбоходные сооружения, нерестовая миграция рыбы, естественное воспроизводство рыбы, природоохранные мероприятия*

Введение. В настоящее время внутренние водные пути страны, представляющие собой традиционные пути миграции как жилых, так и проходных рыб, в значительной степени являются искусственными (каналы, водохранилища и реки, режим которых существенно изменен возведением гидротехнических сооружений) и почти не осталось естественных, т.е. свободных рек и озер. Во многих случаях это приводит к смене условий воспроизводства рыб, особенно проходных и полупроходных, которые нагуливаются в море, озере, водохранилище, низовьях крупных рек, а для размножения заходят в реки и пойменные системы [1]. Для снижения ущерба, причиняемого гидростроительством на реках, и компенсации его в составе гидроузлов устраивают рыбопропускные сооружения.

Существующие в настоящее время рыбопропускные сооружения, как известно, делят на рыбоходы и рыбоподъемники [2]. В рыбоходах рыбы перемещаются благодаря их активному движению на всём протяжении рыбопропускного устройства, а в рыбоподъемниках – за счёт работы самого сооружения, где рыбы не затрачивают собственной энергии на преодоление водного напора.

Рыбоподъемники обладают рядом существенных недостатков: цикличностью действия, несоответствием биологическим особенностям рыб, наличием движущихся элементов, отличием условий выпуска рыб в верхний бьеф от речных условий, сложностью в эксплуатации и др. [3-5].

Рыбоходы являются наиболее распространенным, исследованным и широко используемым на практике видом рыбопропускных сооружений. Они представляют собой открытые каналы, выполненные с постоянным или переменным уклоном по длине [3-5]. В рыбоходах используется естественное стремление рыб идти на нерест против течения. Поэтому условия пропуска рыб в рыбоходах близки к естественным условиям. Несмотря на очевидные достоинства перед рыбоподъёмниками, рыбоходы имеют очень существенный недостаток, значительно, а в отдельных случаях и полностью снижающий эффективность рыбопропуска. Скорость транзитного течения по длине рыбоходного тракта зависит от технологических колебаний уровня воды в водохранилище.

Цель работы – устранение основного недостатка рыбоходов, а именно зависимости скорости привлекающего (транзитного) течения по рыбоходному тракту от величины перепада между уровнями верхних бьефов.

Решаемая задача – совершенствование конструкций лестничных рыбоходов на основе новой технологии использования гидравлических струй.

Применение гидравлических струй в работе лестничных рыбоходов будет способствовать стабилизации гидравлических условий для успешного пропуска рыб из нижнего бьефа гидроузла в верхний бьеф [6].

Математическая модель предлагаемого технического решения и краткие результаты экспериментальных исследований. Теоретическое обоснование технологии использования гидравлических струй для пропуска рыбы из нижнего бьефа в верхний бьеф заключается в следующем (рис. 1).

В поперечной перегородке 2, разделяющей бьефы гидроузла, выполняют рыбопропускное отверстие 3. По периметру данного рыбопропускного отверстия 3 со стороны верхнего бьефа устанавливают струеобразующие насадки 4.

В случае истечения воды через эти насадки 4 образуются два ряда параллельных гидравлических струй 5, имеющих некоторую начальную скорость V_{0n} . На некотором расстоянии x_1 от поперечной перегородки 2 происходит взаимодействие струй воды, т.е. происходит образование суммарного потока 6 с начальной осевой скоростью V_{X0} . Величину V_{X0} начальной осевой скорости суммарного потока 6 можно найти из следующей зависимости [6]:

$$V_{X0} = \varphi_X \frac{V_{0n} d_{0n}^3 b_{\text{э}}^3 n}{9,514(h_{\text{э}} - b_{\text{э}})}, \quad (1)$$

где φ_X – скоростной безразмерный коэффициент, определяемый опытным путем; V_{0n} – начальная скорость истечения одиночной n -й гидравлической струи, м/с; d_{0n} – диаметр n -го струеобразующего насадка, м; $b_{\text{э}}$ – расстояние между осями симметрии параллельных гидравлических струй в ряду, м; n – количество параллельных гидравлических струй в ряду; $h_{\text{э}}$ – расстояние между рядами (плоскостями распространения) параллельных гидравлических струй на выходе из насадков, м.

При дальнейшем распространении суммарного потока его осевая скорость V_X будет уменьшаться с образованием зоны «частично равных давлений» 7, которая обеспечивает беспрепятственный пропуск рыб в верхний бьеф гидроузла.

Давление P_W на оси рыбопропускного отверстия, создаваемое столбом воды высотой H со стороны верхнего бьефа, можно записать, используя основное уравнение гидростатики [6], в виде

$$P_W = \rho g H + \rho g h + P_0, \quad (2)$$

где ρ – плотность воды, кг/м^3 ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; H – величина напора со стороны верхнего бьефа, м; h – глубина погружения оси рыбопропускного отверстия, м; P_0 – давление на свободной поверхности, Па.

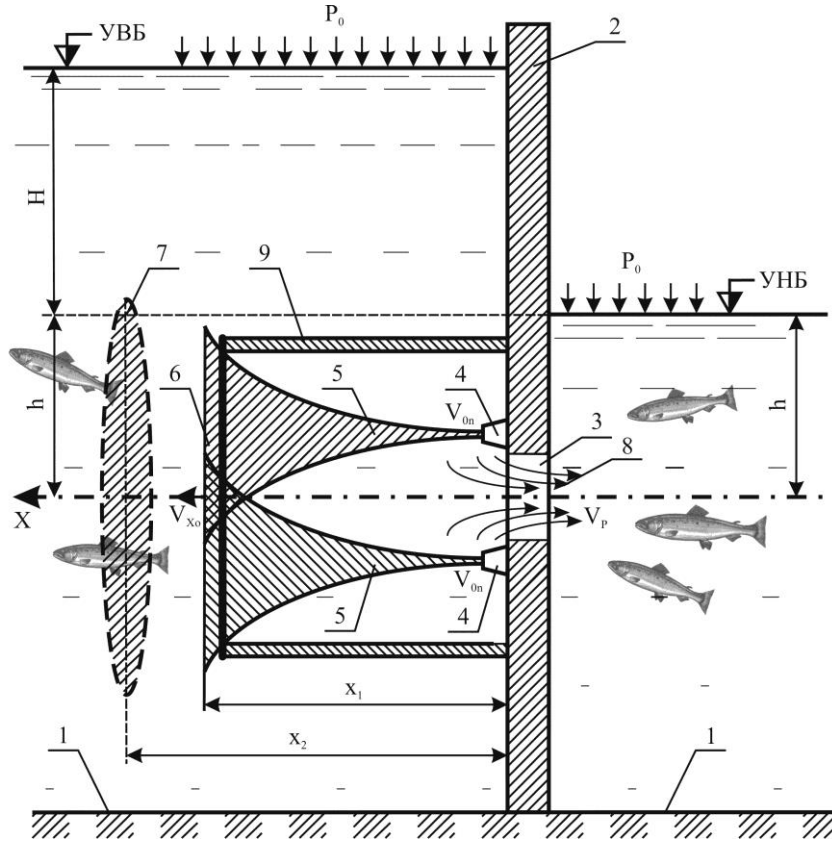


Рис. 1. Схема создания зоны «частично равных давлений» для пропуска рыб, идущих на нерест, через ГТС: 1 – водосливной лоток (рыбоходный тракт); 2 – поперечная перегородка; 3 – рыбопропускное отверстие; 4 – струеобразующие насадки; 5 – ряды параллельных гидравлических струй; 6 – суммарный поток; 7 – зона «частично равных давлений»; 8 – привлекающий поток; 9 – заградительный козырек; УНБ – уровень нижнего бьефа; УВБ – уровень верхнего бьефа; P_0 – давление на свободной поверхности; H – величина напора со стороны верхнего бьефа; h – глубина погружения оси вливного отверстия; V_p – скорость привлекающего потока; V_{0n} – начальная скорость истечения гидравлических струй из насадков; V_{x0} – начальная осевая скорость суммарного потока; X – ось распространения суммарного потока; x_1 – расстояние от поперечной перегородки до зоны взаимодействия струй воды; x_2 – расстояние от поперечной перегородки до зоны «частично равных давлений»

Гидравлический упор, создаваемый суммарным водным потоком, можно вычислить, используя следующее выражение [4]:

$$P' = \rho F V_X^2, \quad (3)$$

где ρ – плотность воды, кг/м^3 ; F – площадь сечения суммарного потока, м^2 ; V_X – осевая скорость суммарного потока, м/с .

Тогда давление противотечения P_{SP} , создаваемое суммарным потоком, можно также определить с использованием основного уравнения гидростатики и записать в следующем виде:

$$P_{SP} = \rho V_X^2 + \rho g h + P_0. \quad (4)$$

При образовании зоны частично равных давлений давление P_W со стороны верхнего бьефа сравнивается с давлением противотечения P_{SP} , создаваемым суммарным потоком. Другими словами, мы в праве приравнять правые части выражений (3) и (4), т.е. получим

$$\rho g H + \rho g h + P_0 = \rho V_X^2 + \rho g h + P_0. \quad (5)$$

После сокращений и приведения подобных, выражение (5) примет вид

$$V_X = \sqrt{gH}, \quad (6)$$

где V_X – скорость суммарного (водного) потока, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; H – величина напора со стороны верхнего бьефа, м.

Таким образом, зону «частично равных давлений» в первом приближении можно рассматривать как начальное сечение суммарного потока, а математическое условие образования зоны «частично равных давлений» (6) примет вид

$$V_{X0} = \sqrt{gH}. \quad (7)$$

Выражение (7) по своему виду совпадает с известной формулой для определения скорости движения жидкости при её истечении из отверстия [6]. Это говорит о том, что полученное условие (7) не противоречит известным положениям гидравлики.

Возможность использования предлагаемой технологии для пропуска рыб из нижнего бьефа гидроузла в верхний бьеф была проверена экспериментально. Исследования включали в себя опыты по изучению:

- величины максимально возможного напора H со стороны верхнего бьефа, удерживаемого суммарным потоком воды;
- зоны «частично равных давлений»;
- возможности использования гидравлических струй для пропуска рыб, идущих на нерест через гидроузел, с использованием модельных рыб.

При проведении лабораторных исследований за основной критерий гидродинамического подобия принят критерий подобия Фруда [6]. Эксперименты с использованием модельных рыб основывались на методе биогидравлического моделирования [5]. В качестве модели объекта использовалась мелкая взрослая рыба или молодь. Подбор ее осуществлялся из условия подобия реакции модельной и натурной рыбы на привлекающий поток.

Полученные результаты экспериментов подтвердили теоретическое обоснование рассматриваемого явления и засвидетельствовали возможность реализации предлагаемого способа применения гидравлических струй для стабилизации условий пропуска рыб из нижнего бьефа гидротехнического сооружения в верхний бьеф. Кроме того, экспериментальные исследования позволили установить значения коэффициентов, необходимых для определения технико-экономических показателей предлагаемой технологии. Так, например, для рыбопропускного отверстия со следующей конфигурацией расположения струеобразующих насадков по его периметру: диаметр струеобразующих насадков $d_{0n} = 100$ мм; количество насадков в ряду $n = 4$ шт.; расстояние между насадками $b_3 = 480$ мм для полной нейтрализации напора со стороны верхнего бьефа на поперечную перегородку величиной в 1 м потребуется обеспечить расход воды через насадки $0,63$ м³/с. При этом начальная скорость истечения струй из насадков из условия обеспечения безопасности рыб составляет около 10 м/с. Затраты электроэнергии составляют $50 \div 60$ кВт/ч.

Предложенная нами технология использования гидравлических струй для пропуска рыбы из нижнего бьефа в верхний бьеф позволила наметить пути совершенства-

ния конструкций лестничных рыбоходов: установка поперечной перегородки с рыбопропускным отверстием, оборудованном системой струеобразующих насадок (рис. 2).

Если уровень нижнего бьефа имеет максимальное значение, а уровень верхнего бьефа минимален, то системы струеобразующих насадков рыбопропускных отверстий, выполненных в верхней и в нижней поперечной перегородке рыбохода, отключены и бездействуют. В этом случае рыбоход будет функционировать в ресурсосберегающем режиме.

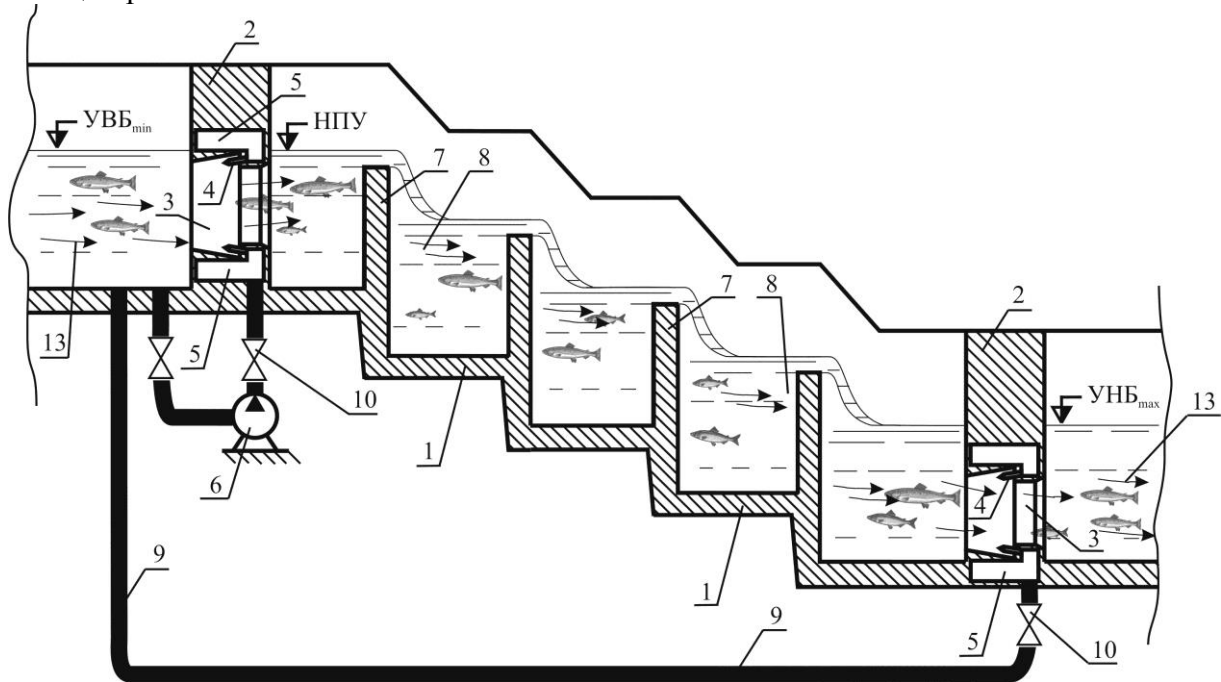


Рис. 2. Схема продольного разреза лестничного рыбохода с наружными поперечными перегородками, размещенными в верхней и в нижней частях рыбохода: 1 – водосливной лоток (рыбоходный тракт); 2 – наружные поперечные перегородки; 3 – рыбопропускные отверстия; 4 – струеобразующие насадки; 5 – коллекторы для питания систем струеобразующих насадков; 6 – питающий насос; 7 – внутренние поперечные перегородки; 8 – бассейны рыбохода; 9 – обводной питающий трубопровод; 10 – задвижки; 11 – ряды параллельных гидравлических струй; 12 – зоны «частично равных давлений»; 13 – направление привлекающего (транзитного) рыбу потока

При увеличении уровня верхнего бьефа до максимальных или форсированных значений включают систему струеобразующих насадков рыбопропускного отверстия, выполненного в верхней поперечной перегородке рыбохода. При истечении воды через струеобразующие насадки перед рыбопропускным отверстием со стороны верхнего бьефа получим зону «частично равных давлений», которая позволит осуществить беспрепятственный пропуск производителей рыб в верхний бьеф гидроузла. Таким образом, благодаря образованию «зоны частично равных давлений» обеспечивают пропуск заданного транзитного расхода воды через рыбопропускное отверстие, выполненное в верхней поперечной перегородке рыбохода, поддерживая расчетный уровень воды в верхней маршевой камере рыбохода.

Рыбоход только с верхней поперечной перегородкой эффективен для гидроузлов со значительной амплитудой колебания уровня верхнего бьефа. Однако такая конструкция рыбохода способна частично компенсировать и изменение уровня нижнего бьефа гидроузла.

При понижении уровня нижнего бьефа вплоть до минимального значения включают систему струеобразующих насадков рыбопропускного отверстия, выполненного в нижней поперечной перегородке рыбохода. Образованная таким образом зона «ча-

стично равных давлений» на нижней поперечной перегородке рыбохода позволит поддержать расчётный уровень воды в предшествующих вышерасположенных камерах рыбохода в обстановке изменяющегося нижнего уровня бьефа гидроузла.

В случае одновременного изменения уровней верхнего и нижнего бьефов гидроузла с учётом величины отклонения в сторону увеличения уровня верхнего бьефа от минимального значения и уровня нижнего бьефа в сторону уменьшения от максимального значения на верхней и нижней поперечных перегородках рыбохода формируют зоны «частично равных давлений». Эти действия позволят поддерживать расчётный уровень верхней маршевой камеры рыбохода при любых колебаниях бьефов гидроузла, обеспечивая при этом создание благоприятных условий пропуска рыбы через рыбоход.

Выводы. Предлагаемые подходы модернизации конструкций лестничных рыбоходов и технологий их работы в различных вариантах позволят:

- существенно образом упростить задачу компенсации негативного влияния изменения уровней бьефов гидроузла на величину скорости привлекающего (транзитного) течения по рыбоходному тракту;
- применять данные технологии на большинстве гидроузлов, как вновь строящихся, так и уже действующих;
- простым и надёжным способом регулировать скорость привлекающего (транзитного) водного течения;
- обеспечивать ресурсосберегающие режимы работы;
- соблюдать все экологические требования охраны природы.

Список литературы

1. Комплексное использование и охрана водных ресурсов / О.Л. Юшманов [и др.]. М.: Агропромиздат, 1985. 303 с.
2. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения: СП 101.13330.2012: утв. приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 30.06.2012 № 267; срок введ. в действие 01.01.2013. Изд. офиц. М.: Минрегион России, 2012. 73 с.
3. Введенский О.Г. Рыбоохранный комплекс гидроузла // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2013. № 4. С. 67–81.
4. Введенский О.Г. Разработка экологически щадящей технологии использования водных потоков для пропуска рыб на нерест через ГТС: дис. ... канд. техн. наук: 03.00.16. Йошкар-Ола, 2001. 286 с.
5. Шкура В.Н. Рыбопропускные сооружения: в 2 ч. Новочеркасск: Новочеркасская гос. мелиорат. акад., 1998. 728 с.
6. Введенский О.Г. Пути повышения эффективности работы рыбоходных сооружений в условиях циклического изменения уровней бьефов гидроузла // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2010. № 1. С. 59–68.

USE OF HYDRAULIC STREAMS IN DESIGNS OF LADDER FISH PASSES

Vvedenskiy Oleg Germanovich, Zarnichin Andrey Yurevich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The problem of improvement of designs of ladder fish passes is discussed with the help of application of hydraulic streams. Theoretical justification of use of hydraulic streams for passing from hydrosystem's afterbay into forebay. The essence of constructive modernization of ladder fish passes is described. Short results of pilot studies are given.

Keywords: *hydrosystem's, storage pool, fish passes, spawning migration of fish, natural reproduction of fish, nature-conservative measures*

УДК 627.882 + 532.522

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОКАТНЫХ МИГРАЦИЙ НА ЗАРЕГУЛИРОВАННЫХ РЕКАХ

Введенский Олег Германович, Лисков Сергей Эрикович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
VvedenskyOG@volgatech.net

Рассмотрена проблема обеспечения покатных миграций рыб на зарегулированных реках. Предложена новая конструкция рыбонаправляющего устройства для восстановления покатных миграций рыб на водохранилищах. Представлено математическое обоснование предлагаемого технического решения. Приведены краткие результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: гидроузел, водохранилище, покатная миграция рыбы, естественное воспроизводство рыбы, природоохранные мероприятия

Введение. Покатная миграция молоди рыб является важнейшим периодом жизненного цикла многих видов рыб [1]. Она проявляется в движении рыб вниз по течению, в так называемом скате молоди от мест рождения к местам нагула. Адаптивное значение таких миграций заключается в том, что они способствуют расселению молоди и использованию трофической части ареала. Покатные миграции молоди – это первое звено миграционного цикла рыб, от которого во многом зависят масштаб и характер миграций в последующие периоды жизни, а также многие другие стороны экологии рыб. Данные миграции как биологического явления характерны не только для проходных и полупроходных видов рыб, но и для туводных.

В результате гидротехнического строительства и зарегулирования стока рек режим течений во многих внутренних водоемах резко изменился. Соответственно, изменились и условия для проявления покатных миграций молоди рыб. Происходят задержка ската молоди, вынос молоди в ирригационные системы и ее массовое попадание в другие водозаборные сооружения, гибель молоди при прохождении турбин. Поэтому решение задачи по обеспечению покатных миграций рыб на зарегулированных реках имеет высокую практическую значимость. Кроме того, на сегодняшний день организация покатных миграций на водохранилищах не имеет приемлемых и эффективных технических решений, что также подчеркивает актуальность данной проблемы [2, 3].

Цель работы – разработка организационных и технических мероприятий по обеспечению покатных миграций рыб на зарегулированных реках в составе рыбоохранных комплексов гидроузлов.

Решаемая задача – обоснование конструкций новых технических средств и способов их работы в составе рыбоохранных комплексов гидроузлов по обеспечению безопасной покатной миграции рыб.

Покатная миграция выражается в возвращении отнерестившихся производителей и скате молоди к местам нагула. На наш взгляд, мероприятия по обеспечению безопасности покатников на зарегулированных реках должны реализовываться по трём взаимосвязанным и взаимно дополняющим направлениям. А именно обеспечение безопасного пропуска покатников через плотину гидроузла из водохранилища в нижний

бьеф, предупреждение подхода рыб к источнику опасности и защита их непосредственно перед этим источником.

Для предупреждения подхода рыб к источнику опасности в условиях самостоятельного или пассивного расселения рыб по акватории водохранилища разумно использовать искусственные убежища и рыбоотводящие течения со сносящими скоростями для рыб (см. таблицу) [4]. Искусственные убежища предоставляют мигрирующей рыбе оптимальные условия для продолжительного оседлого обитания на удалении от источника опасности и, как следствие, воздержание от перемещений в его сторону [3]. В свою очередь, рыбоотводящие течения призваны защитить мигрантов от попадания в водозаборные сооружения. С другой стороны, они позволяют перенаправлять покатников от источников опасности в места водохранилища, благоприятные для обитания рыб, или к специальным устройствам, обеспечивающим безопасный пропуск мигрирующей рыбы через плотину в нижний бьеф гидроузла.

Значения характерных для рыб скоростей потока

Вид рыб	Характерные для рыб скорости потока, м/с			
	пороговая	привлекающая	сносящая	бросковая
Проходные				
Осетровые	0,15–0,2	0,7–1,2	0,9–1,4	–
Лососевые	0,2–0,25	0,9–1,4	1,1–1,6	1,5–2
Полупроходные				
Лещ, судак, сазан, вобла и др.	0,15–0,2	0,5–0,8	0,9–1,2	–

Существующие в настоящее время конструкции рыбонаправляющих устройств имеют ряд существенных недостатков [2, 3]:

- существующие конструкции рыбонаправляющих устройств зачастую сами становятся источниками опасности для рыб;
- низкая мобильность устройств;
- трудность регулирования рыбоотводящих течений как по скорости, так и по глубине водотока;
- невозможность формирования рыбоотводящих течений на большие расстояния, а также охватывающие значительные площади водотока;
- слабая универсальность устройств;
- сложность конструкций.

Преодолеть указанные выше недостатки можно с помощью рыбонаправляющего устройства (рис. 1), представляющего собой регулятор расхода воды [3]. Рыбонаправляющее устройство включает в себя водонепроницаемую стенку 1, установленную в параллельных друг другу направляющих балках 2, которые вертикально прикреплены к понтонам 3. Сами балки скреплены между собой посредством мостика 4, опирающегося на понтоны 3. Для придания жесткости конструкции рыбонаправляющего устройства используют поперечные и наклонные тяги 5. В водонепроницаемой стенке устраивают одно или несколько рыбопропускных отверстий 6 с системами струеобразующих насадков 7. Питание струеобразующих насадков осуществляют посредством раздающих коллекторов 8, выполненных в водонепроницаемой стенке. Помимо того, водонепроницаемая стенка фиксируется в направляющих балках по заданной высоте с помощью троса 9. Длину троса регулируют с помощью барабана 10, связанного с червячным приводом 11.

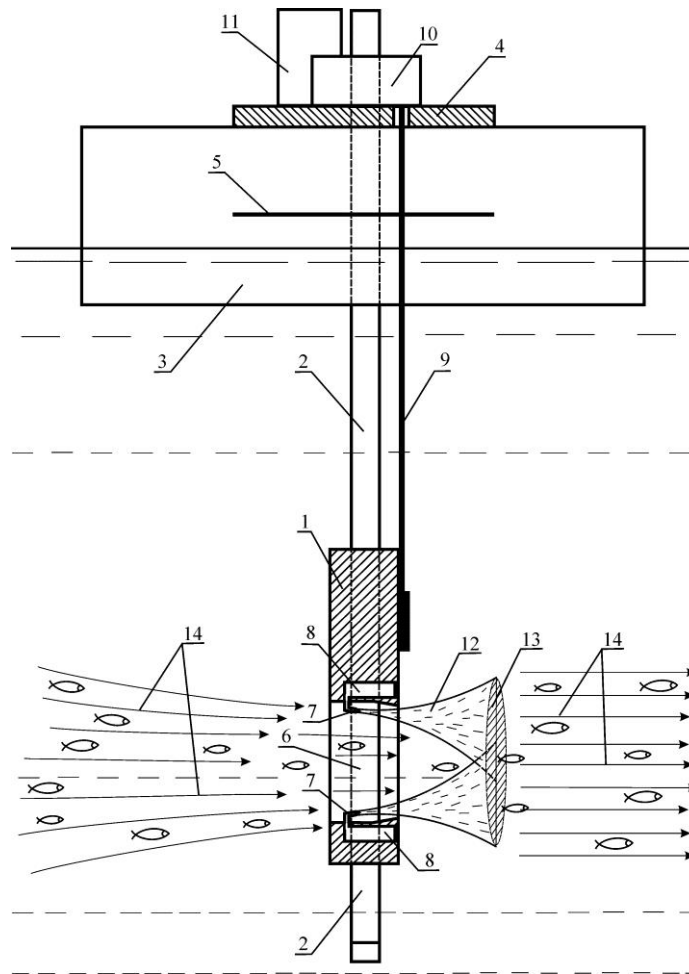


Рис. 1. Рыбоуправляющее устройство: 1 – водонепроницаемая стенка; 2 – направляющие балки; 3 – понтоны; 4 – мостик; 5 – тяги; 6 – рыбопропускное отверстие; 7 – системы струеобразующих насадков; 8 – раздающие коллекторы; 9 – трос; 10 – барабан; 11 – червячный привод; 12 – гидравлические струи; 13 – суммарный поток; 14 – транзитное водное течение рыбоотводящего или рыбопривлекающего назначения

Рыбоуправляющие устройства предлагаемой конструкции размещают на водной акватории рек, озер или водохранилищ на существующих или проектируемых трассах движения рыб, идущих на нерест или покатников, либо вблизи источников опасностей для предотвращения гибели молоди и взрослой рыбы (рис. 2). Посредством насосов, установленных на мостике рыбоуправляющего устройства или на отдельном понтоне либо на берегу, подают воду через раздающие коллекторы в систему струеобразующих насадков рыбопропускных отверстий, которые формируют гидравлические струи. Гидравлические струи, взаимодействуя между собой, образуют в зависимости от количества рыбопропускных отверстий один или несколько суммарных потоков. В свою очередь, суммарные потоки формируют перед водонепроницаемой стенкой и за ней транзитное водное течение, которое в зависимости от величины скорости может иметь рыбоотводящее или рыбопривлекающее назначение (см. таблицу). Транзитное водное течение рыбоотводящего или привлекающего назначения позволит проводить через рыбопропускное отверстие производителей рыб и ее молодь на значительные расстояния. Скорость транзитного водного течения и, соответственно, режим его назначения регулируют начальной скоростью истечения гидравлических струй из насадков.

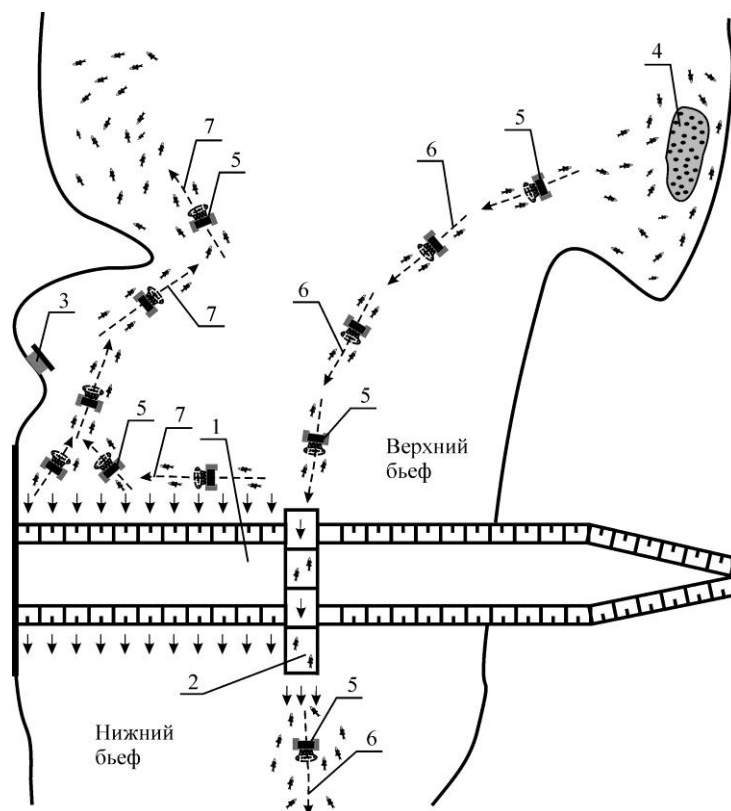


Рис. 2. Схема размещения рыбонаправляющих устройств на акватории гидроузла:

1 – плотина гидроузла; 2 – рыбопропускное сооружение; 3 – водозабор; 4 – нерестилище;
5 – рыбоотводящее устройство; 6 – транзитное водное течение рыбопривлекающего назначения;
7 – транзитное водное течение рыбоотводящего назначения

Математическая модель предлагаемого технического решения и краткие результаты экспериментальных исследований. При истечении гидравлических струй из струеобразующих насадков (рис. 2), установленных по периметру рыбопропускного отверстия, как правило, прямоугольной формы в поперечной разделительной стенке, образующей камеру рыбохода, формируется суммарный поток с осевой скоростью V_{U0} , которую можно определить из следующего выражения [3, 5]:

$$V_{U0} = \varphi \frac{V_{0n} d_{0n}^3 b_n^3 n}{(h_n - b_n)}, \quad (1)$$

где V_{0n} – скорость истечения струй из насадков; n – количество струй в ряду; b_n – расстояние между осями струй (насадков) в ряду; h_n – расстояние между плоскостями распространения (рядами) струй; d_{0n} – диаметр струеобразующих насадков; φ – скоростной коэффициент, определяемый опытным путем.

Данный суммарный поток можно рассматривать как плоскопараллельную струю с начальной скоростью V_{U0} . Закон изменения осевой скорости данной плоскопараллельной струи [6] может быть представлен следующей зависимостью:

$$V_U = \frac{\text{const}}{\sqrt{U}} = \varphi_U'' \frac{V_{U0} b_n n}{\sqrt{U}}, \quad (2)$$

где U – расстояние от начального сечения суммарного потока EE'' до рассматриваемого участка потока; ϕ''_U – коэффициент пропорциональности, определяемый опытным путем.

Тогда дальность распространения транзитного водного течения U , используя выражения (1) и (2), можно оценить зависимостью

$$U = \left(\phi''_U \frac{V_{U0} b_{\Sigma} n}{V_U} \right)^2, \quad (3)$$

где U – расстояние от водонепроницаемой стенки до рассматриваемого участка транзитного потока; V_{U0} – начальная скорость суммарного потока; V_U – минимальная требуемая величина транзитного потока; ϕ''_U – коэффициент пропорциональности, определяемый опытным путем.

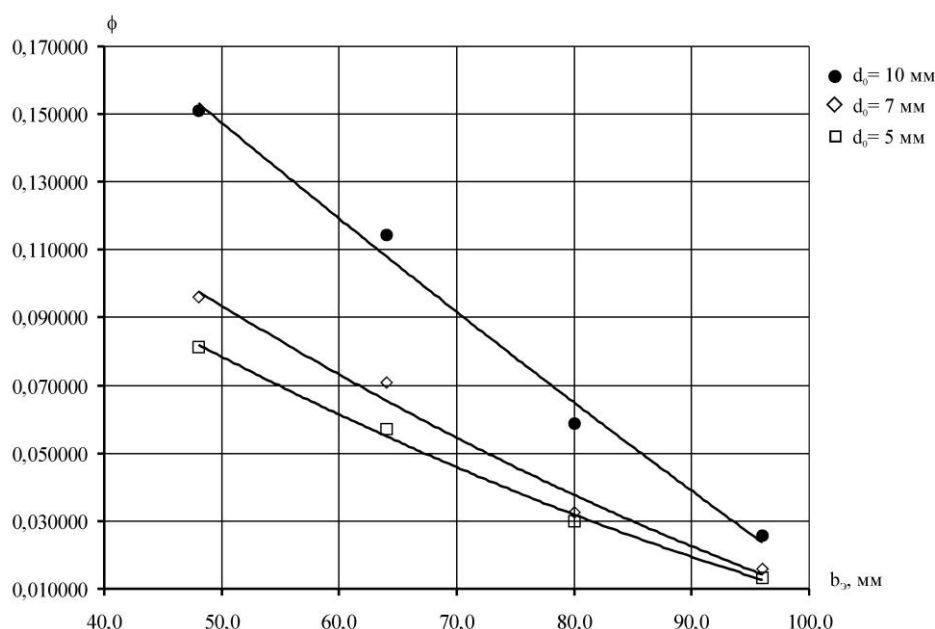


Рис. 3. Графическая зависимость изменения значения скоростного коэффициента противотока ϕ от величины расстояния между осями гидравлических струй b_{Σ} для струеобразующих насадок различных диаметров d_{0n} , полученная на гидравлической модели масштабом $\lambda_L = 10$

С целью проверки работоспособности предлагаемой конструкции рыбонаправляющего устройства, а также возможности его использования для проводки и привлечения рыб проведена серия экспериментов на модели. В ходе лабораторных исследований за основной критерий гидродинамического подобия был принят критерий подобия Фруда. Кроме того, в экспериментах были использованы модельные рыбы. Эксперименты основывались на методе биогиравлического моделирования.

Результаты экспериментов полностью подтвердили высокую эффективность предлагаемого технического решения. Кроме того, с использованием выражения (1) на практике нами экспериментально определены значения скоростного коэффициента ϕ в зависимости от диаметров струеобразующих насадок d_{0n} и расстояния между насадками b_{Σ} .

Выводы. Предлагаемая нами конструкция рыбонаправляющего устройства позволит:

- существенным образом упростить задачу формирования эффективных транзитных водных течений рыбоотводящего или привлекающего назначения;
- обеспечить высокую мобильность;
- простым способом регулировать дальность и скорость транзитного водного течения, придавая ему рыбоотводящий или рыбопривлекающий характер;
- обеспечивать формирование транзитных течений на заданной глубине, большие расстояния, а также охватывать значительные площади водотока;
- соблюдать все экологические требования охраны природы.

Предлагаемое рыбонаправляющее устройство, по нашему мнению, должно найти достаточно широкое применение для защиты рыб и их молоди на водозаборах и на других источниках опасностей. Его можно с большим успехом использовать для перенаправления молоди рыб от мест нереста к рыбопропускным сооружениям при покатных миграциях, а также для привлечения производителей рыб в рыбопропускные сооружения и дальнейшей их проводки от рыбопропускных сооружений на участки и притоки водохранилища с ярко выраженными естественными течениями.

Список литературы

1. Покатная миграция молоди рыб в реках Волга и Или / Павлов Д.С. и [др.]. М.: Наука, 1981. 320 с.
2. Иванов А.В. Перспективы рыбохозяйственного освоения водохранилищ гидроэнергетического назначения // Гидротехническое строительство. 2007. № 9. С. 23–26.
3. Введенский О.Г. Рыбоохранный комплекс гидроузла // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2013. № 4. С. 67–81.
4. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения: СП 101.13330.2012: утв. приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 30.06.2012 № 267; срок введ. в действие 01.01.2013. Изд. офиц. М.: Минрегион России, 2012. 73 с.
5. Введенский О.Г. Пути повышения эффективности работы рыбоходных сооружений в условиях циклического изменения уровней бьефов гидроузла // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2010. № 1. С. 59–68.
6. Дмитриев Ю.Я. Гидравлические ускорители на лесосплаве. М.: Лесная промышленность, 1971. 199 с.

ENSURING DOWNSTREAM MIGRATIONS ON THE OVERREGULATED RIVERS

Vvedenskiy Oleg Germanovich, Liskov Sergey Erikovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

The providing problem the downstream of migrations of fishes on the overregulated rivers is considered. The new design of the fish-passing device for restoration the downstream of migrations of fishes on reservoirs is offered. Mathematical justification of a proposed technical solution is presented. Short results of pilot studies are given.

Keywords: *water-engineering system, storage pool, downstream migration fish, natural reproduction fish, nature-conservative measures*

УДК 541.183.5:539.143.43

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОПОРИСТЫХ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОРБИРОВАННОЙ ВОДЫ

Гогелашвили Гоча Шотаевич, Ладычук Дмитрий Владимирович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
GogelashviliGS@volgatech.net

Методы физико-химического анализа (сорбционный и импульсный ЯМР) использованы для изучения систем «микропористый активный уголь (АУ) – вода». По данным ЯМР установлена взаимосвязь между временами спин-спиновой и спин-решеточной релаксации адсорбированных молекул воды при полном заполнении микропор и параметрами структуры АУ, найдены линейные корреляционные зависимости между ними. Определены энергии активации молекулярного движения молекул воды, адсорбированных в порах АУ, в широком интервале относительных давлений паров воды и соответствующих им величин адсорбции.

Ключевые слова: адсорбция, микропоры, активные угли, ядерный магнитный резонанс, магнитная релаксация

Введение. Активные угли (АУ), обладающие способностью к сорбции и разделению различных индивидуальных химических веществ и их смесей, находят применение в различных химических и технологических процессах, медицине и других отраслях, а также используются при решении экологических проблем [1]. При анализе структуры и сорбционных свойств АУ с использованием химических и оптических методов происходит воздействие на образец, в результате которого необратимо изменяются его структура и свойства. Одним из них методов широкой информативности и экспрессности, не приводящих к негативному воздействию на образец, является метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР), в частности, в его импульсной модификации. С помощью метода ЯМР можно исследовать структуру адсорбента и адсорбата, а также определять их физико-химические характеристики.

Цель работы – установление взаимосвязи между характеристиками структуры микропористых активных углей и физико-химическими свойствами сорбированной воды.

Решаемые задачи: 1) анализ изменения структуры и свойств АУ при различных физико-химических воздействиях; 2) установление взаимосвязи между параметрами ЯМР-релаксации сорбированной воды со структурными и сорбционными свойствами АУ; 3) разработка способов определения термодинамических характеристик и анализ системы «АУ-адсорбированная вода».

Техника эксперимента и методика обработки результатов. Изучены 4 лабораторных образца АУ из фурфурола типа промышленного АУ марки ФАС прогрессирующей степени активации – ФАС-1, ФАС-2, ФАС-3, ФАС-Н, промышленный АУ из торфа СКТ-6А и 3 лабораторных образца АУ из черного щелока – Карболин-1, Карболин-2, ЧЩН-37. Структурные параметры АУ определялись на основании анализа экспериментальных изотерм адсорбции (ИА) паров азота при 77 К и воды при 293 К [2] (табл. 1). Для ЯМР-исследований образцы АУ (объемом около 0,8 см³) в измерительных ампулах насыщались влагой в течение 2-х недель изопиестическим методом до

достижения равновесия. Заполнение всех пор водой достигалось при выдерживании образцов АУ в насыщенных парах воды.

Параметры пористой структуры активных углей, рассчитанные по изотермам адсорбции паров азота при 77 К и воды при 293 К

АУ	Уравнение Дубинина-Радушкевича				Уравнение Дубинина-Стекли			По изотермам адсорбции воды		
	$S_{me}+S_T$, м ² /г	S_{me} , м ² /г	W_0 , см ³ /г	x_0 , нм	W_0 , см ³ /г	x_0 , нм	δ , нм	S_{me} , м ² /г	a_m , ммоль/г	x_0 , нм
ФАС-1	1363	30	0.32	0.24	0.32	0.24	0.06	28	0.24	0.25
ФАС-2	1029	120	0.60	0.66	0.62	0.67	0.30	150	0.15	0.65
ФАС-3	2300 ^{a)} 2100 ^{b)}	-	-	- 0.8 ^{b)}	-	-	-	360	0.13	0.90
ФАС-Н	1154	80	0.58	0.54	0.61	0.60	0.28	95	0.28	0.56
СКТ-6А	1142	50	0.59	0.54	0.60	0.56	0.13	55	0.60	0.56
Карболин-1	1676	60	1.18	0.73	-	-	-	65	1.21	0.73
Карболин-2	2530 ^{a)} 2330 ^{b)}	90	0.89	0.87	-	-	-	120	0.43	0.45
ЧЦН-37	1545	65	0.48	0.74	-	-	-	70	0.53	0.76

S_{me} – поверхность мезопор, W_0 – объем микропор, x_0 – полуширина микропор для щелевидной модели, δ – дисперсия распределения пор по размерам, a_m – число первичных адсорбционных центров для адсорбции молекул воды. ^{a)} Определено по уравнению БЭТ. ^{b)} Определено сравнительным методом.

Измерения параметров ЯМР-релаксации воды проводились на спектрометре с рабочей частотой 42 МГц, длительность 90°-импульса – 0,6 мкс. Измерение времен спин-решеточной (T_1) и спин-спиновой (T_2) релаксации осуществлялось по так называемому «нуль-методу» (импульсная последовательность 180°- τ -90°) и методу Карра-Парселла-Мейбума-Гилла (импульсная последовательность 90°- τ -180°-2 τ -180°) соответственно [3]. Измерения времен T_1 адсорбированной в порах АУ воды проводились в температурном интервале от 293 до 353 К. Для анализа экспериментальных данных применялась компьютерная математическая программа Origin 6.1.

Интерпретация результатов. Параметры пористой структуры АУ, определенные по ИА паров азота и воды, за исключением Карболина-2, согласуются друг с другом (см. табл. 1). В то же время размеры микропор для Карболина-2, оцененные по ИА паров азота и воды, заметно различаются, что связано с особенностями его пористой структуры.

Согласно теории ядерной магнитной релаксации жидкости в порах [4], скорость ЯМР-релаксации молекул жидкости в поре при условии быстрой диффузии определяется геометрией пор и мощностью стоков намагниченности на поверхности пор (μ). В работе [4] получено соотношение $T_{1,2} \sim V/S\mu$, где V и S – соответственно объем жидкости и удельная поверхность пористого тела. Тогда, введя степень заполнения пор водой ($\theta = V/V_0$) и учитывая, что $V_0/S = x$, для величины T_2 получается выражение

$$T_{1,2} \sim V/S\mu = (V/V_0)V_0/S\mu = x\theta/\mu. \quad (1)$$

Наличие первичных адсорбционных центров ПАЦ, с которыми молекулы воды образуют водородные связи, приводит к ограничению трансляционной и вращательной подвижности молекул воды. Наименьшие величины T_2 из изученных АУ характерны для СКТ-6А и Карболина-1, имеющих наибольшее количество ПАЦ (см. табл. 1). Играющие роль ПАЦ поверхностные функциональные группы, содержащие протоны, служат стоками магнитной энергии, и естественно предположить, что $\mu = f(a_m)$. Для

АУ, несильно различающихся по числу ПАЦ, должна существовать корреляция между величинами T_2 и x_0 , а для АУ с сильно различающимися числами ПАЦ - между T_2 и a_m . Для АУ с близкими значениями размеров пор можно предположить существование следующей зависимости:

$$\frac{1}{T_{2n}} = ka_m, \quad (2)$$

где k – коэффициент пропорциональности, зависящий от формы и размера пор; $T_{2n} - T_2$ адсорбированной воды при полном заполнении микропор АУ, определяемое по точке последнего перегиба на зависимостях $T_2=f(p/p_s)$ и $T_2=f(a/a_m)$ и соответствующее величине адсорбции a при $p/p_s=0.90-0.95$ на ИА паров воды [5].

Для сравнения данных, полученных для различных АУ, имеет смысл использовать величину (a_m/W_0) – количество ПАЦ, приходящихся на единицу объема микропор изученных АУ (объемную плотность ПАЦ). Зависимость $T_{2n}=f(a_m/W_0)$ может быть аппроксимирована линейной функцией

$$T_{2n} = 21.1 - 19.6 \frac{a_m}{W_0}. \quad (3)$$

Свободный член в (3), равный 21.1 мс, соответствует T_2 протонов воды, сорбированной в микропорах при полном отсутствии ПАЦ. В случае, когда плотная монослойная упаковка адсорбированных молекул воды соответствует полному заполнению объема микропор ($a_m/W_0=1$), значение T_{2n} равняется 1.5 мс. При этом предполагается также выполнение условия $a/a_m=1$. Такая ситуация возможна в микропорах шириной в 2 молекулы воды, при этом расстояние между ПАЦ должно равняться диаметру молекулы воды. Образец Карболин-2 выпадает из линейной зависимости (3). На зависимости $T_2=f(a/a_m)$ для данного АУ наблюдаются два четко разделенных по величине T_2 плато, что свидетельствует о существовании областей различной пористости в Карболине-2 и изменении условий обмена между ними с ростом адсорбции. ИА паров воды на этом АУ имеет «волнообразный» характер – наблюдаются два слабовыраженных плато при $p/p_s = 0.3-0.45$ и $p/p_s = 0.90-0.95$, что свидетельствует о бимодальном распределении микропор АУ по размерам [6]. Поскольку между спинами молекул воды, сорбированных в порах разных размеров, на данных участках отсутствует быстрый обмен намагниченностью, можно вычислить вклады T_2 ($P_1=a_{n1}/a_n=0.41$ и $P_2=a_{n2}/a_n=0.59$, $P_1+P_2=1$) для этих участков (T_{21n} и T_{22n}) в общую величину T_{2n} :

$$T_{2n} = P_1 * T_{21n} + P_2 * T_{22n}. \quad (4)$$

После разделения сорбированной Карболином-2 воды в микропорах на две фракции (Карболин-21 и Карболин-22) эмпирическая зависимость (3) хорошо описывает полученные результаты, и экспериментальные точки ложатся на прямую. Экстраполяция прямой до пересечения с осью абсцисс невозможна, так как величина T_{2n} для молекул воды не может равняться нулю, а должна стремиться к значению времени спин-спиновой релаксации для молекул воды, адсорбированных непосредственно на ПАЦ ($T_{2n}=0.05-0.2$ мс). Это значение должно соответствовать плотной монослойной упаковке молекул воды, т.е. при соотношении $a/a_m=1$. При этом объем микропор должен быть заполнен, т.е. подобное состояние характерно для микропор полушириной в одну молекулу воды. Из анализа данных для разных АУ следует, что чем больше величина a_m/W_0 , тем меньшее количество молекул воды приходится на один ПАЦ при полном заполнении объема микропор (при предельной величине адсорбции). По-

видимому, наличие ПАЦ, близко расположенных друг от друга, «структурирует» адсорбат и препятствует плотной упаковке адсорбированных молекул воды.

Энергия активации движения молекулы воды в порах АУ $E_{акт}$ определялась с помощью экспериментальных зависимостей $\ln T_{1cp} = f(10^3/T)$ [7], исходя из взаимосвязи скорости спин-решеточной релаксации адсорбированной воды T_1 с интенсивностью молекулярного движения (временем корреляции τ_c), а также из активационной модели движения (уравнения Аррениуса).

Так как величина $E_{акт}$ адсорбированных молекул воды зависит от величины адсорбции, то целесообразно проводить сравнение адсорбционных систем «АУ–вода» при максимальном заполнении микропор, определяющимся по последнему изгибу на зависимости $E_{акт} = f(a/a_m)$, соответствующему по величине адсорбции области $p/p_s = 0.75-0.95$. Она также зависит от особенностей пористой системы и степени взаимодействия адсорбированных молекул с адсорбентом – количества ПАЦ. В связи с этим можно ввести параметр W_0/a_m (W_0 – объем микропор, a_m – количество ПАЦ), определяющий адсорбционный объем вокруг 1 ПАЦ (или объем микропор, приходящийся на 1 ПАЦ). Этот объем заполняется молекулами воды, непосредственно адсорбированными на ПАЦ (т.е. собственно кластером), а также молекулами воды в объеме поры, участвующими в быстром обмене с молекулами кластера. Зависимость $E_{акт} = f(W_0/a_m)$, являющаяся линейной для микропористых АУ (СКТ-6А, ФАС-1, ФАС-Н и ФАС-2), аппроксимируется соотношением

$$E_{акт} = 0.89 \frac{W_0}{a_m} + 1.30. \quad (5)$$

Для образцов ФАС-Н-15 и СКТ-6А, характеризующихся одинаковыми параметрами структуры (x_0 и W_0), значения $E_{акт}$ отличаются друг от друга, что обусловлено разницей в количестве ПАЦ (см. табл. 1). Увеличение адсорбционного объема, приходящегося на 1 ПАЦ, приводит к возрастанию величины $E_{акт}$, что, по-видимому, обусловлено возрастанием числа молекул воды в кластере вокруг одного ПАЦ и, следовательно, усилением влияния окружения, а также уменьшением доступного пространства для движения. Данные для супермикропористого АУ ФАС-3 существенно отклоняются от эмпирической прямой (5). Можно предположить, что в мезопорах образца ФАС-3 не происходит объемного заполнения порового пространства молекулами воды и заполненность пор составляет 51.7%. Тот факт, что значение $E_{акт}$ воды в ФАС-3 оказывается меньшим, обусловлен, вероятно, вкладом от молекул воды в паровой фазе, существующей в свободном объеме мезопор. Этот вклад также определяет измеряемые значения коэффициентов самодиффузии адсорбированной воды [8]. Известно, что в газах и парах межмолекулярное взаимодействие пренебрежимо мало, и спин-вращательный механизм релаксации является доминирующим и определяет меньшую величину измеряемой энергии активации воды в мезопорах ФАС-3 по сравнению с микропористыми ФАС-1,2, Н, СКТ-6А.

Как следует из выражений (3) и (5), между значениями T_2 и $E_{акт}$ при максимальном заполнении микропор АУ при $p/p_s \approx 0.90-0.95$ наблюдается взаимосвязь, описываемая соотношением

$$E_{акт} = \frac{17.44}{21.10 - T_{2n}} + 1.30. \quad (6)$$

Зависимость (6) объясняется тем, что при объемном заполнении микропор сорбируемая вода имеет особую структуру вследствие воздействия перекрывающихся электростатических полей противоположных стенок щелевидных микропор и облада-

ет определенной подвижностью молекул, что в свою очередь является определяющим фактором для значений T_{2n} и $E_{акт}$.

Выводы. Обнаружена линейная корреляционная зависимость между временем спин-спиновой релаксации протонов адсорбированной воды при полном заполнении объема микропор АУ (T_2) и объемной плотностью ПАЦ (a_m/W_0) для молекул воды в АУ и предложено эмпирическое уравнение для аппроксимации данной зависимости, позволяющее определить объем микропор АУ.

Найдено, что рост значений $E_{акт}$ для воды при полном заполнении микропор, наблюдающемся при относительном давлении паров воды $p/p_s \approx 0.90-0.95$, с увеличением объема кластера адсорбированной воды, приходящегося на 1 ПАЦ (W_0/a_m), описывается линейной функцией. Величина $E_{акт}$ зависит от степени заполнения пор АУ, что обусловлено изменением состояния молекул воды в процессе адсорбции.

Между значениями T_{2n} и $E_{акт}$ при полном заполнении микропор АУ существует линейная взаимосвязь. Сорбированная вода имеет особую структуру вследствие воздействия перекрывающихся электростатических полей противоположных стенок щелевидных микропор и обладает определенной подвижностью молекул, что в свою очередь является определяющим фактором для значений T_{2n} и $E_{акт}$.

Список литературы

1. Журкин Н.Н., Алибеков С.Я. Усовершенствование механической очистки сточных вод // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 1. С. 92-97.
2. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М.: Мир, 1984.
3. Вашман А.А., Пронин И.С. Ядерная магнитная релаксационная спектроскопия. М.: Энергоатомиздат, 1986.
4. Brownstein K.R., Tarr C.E. Importance of classical diffusion in NMR studies of water in biological cells // Physical Review A. 1979. Vol. 19. P. 2446-2453.
5. Вартапетян Р.Ш., Волощук А.М. Механизм адсорбции молекул воды на углеродных адсорбентах // Успехи химии. 1995. № 11. С. 1055-1072.
6. О бимодальном распределении микропор активного угля по размерам / Р.Ш. Вартапетян, А.М. Волощук, Н.А. Лимонов, Ю.А. Романов // Известия академии наук. Сер.: Химическая. 1993. № 3. С. 473-475.
7. Чижик В.И. Ядерная магнитная релаксация. СПб.: Изд-во С.-Пб. ун-та, 2004.
8. Хозина Е.В., Вартапетян Р.Ш., Волощук А.М. Особенности специфической самодиффузии молекул воды и бензола в активных углях // Коллоидный журнал. 1997. № 2. С. 252-257.

INFLUENCE OF STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF MICROPOROUS ACTIVE COALS ON PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF SORBED WATER

Gogelashvili Gocha Shotaevich, Ladychuk Dmitry Vladimirovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

Methods of the physical and chemical analysis (sorption and pulse nuclear magnetic resonance) are used for studying of systems microporous active coal (AC) – water. According to a nuclear magnetic resonance the interrelation between times of spin-spin and spin-lattice relaxation of the adsorbed molecules of water is established at full filling of micropores and structure parameters AC, linear correlation dependences between them are found. Are defined energy of activation of molecular motion of the molecules of the water, adsorbed in a time AC, in a wide interval of relative pressure of vapors of water and sizes of adsorption corresponding to them.

Keywords: adsorption, micropores, active coals, nuclear magnetic resonance, magnetic relaxation

УДК 630*116.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУЙНОГО РАЗМЫВА ДОННОГО ГРУНТА

Кузнецова Юлия Анатольевна

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
kuznecovaya@volgatech.net

Для математического описания динамики струйного размыва донного грунта использована балансовая динамическая модель Дж. Форрестера.

Ключевые слова: динамика размыва, струйный размыв грунта, системная модель

Введение. Моделирование струйных течений имеет большое значение при совершенствовании средств инженерно-экологического обустройства водохранилищ ГЭС [1], проектировании новых технических устройств в различных отраслях промышленности. В настоящее время отсутствуют аналитические модели взаимодействия грунта нижнего бьефа со сходящей с рисбермы струей. Для решения вопроса сохранения устойчивости сооружений нижнего бьефа обычно применяются численные модели. Анализ показывает, что численные модели, основанные на составлении сеточных уравнений, зачастую отличаются неустойчивостью математических решений. В этой связи в настоящей работе предлагается простая балансовая модель, основанная на системном подходе. Для получения параметров размывающей струи использованы положения теории струй и размыва [2-5].

Цель работы: 1) выявить физические параметры, влияющие на размыв грунта; 2) выделить основные подсистемы и определить их характеристики; 3) разработать информационно-технологическую модель, позволяющую произвести имитационное моделирование и получить характеристики струйного размыва донного грунта.

Решаемые задачи: 1) разработка модели струйного размыва донного грунта и построение системной диаграммы в обозначениях Дж. Форрестера [6]; 2) формирование уравнений подсистем системного комплекса; 3) применение теории струй к определению коэффициентов связи между параметрами размыва; 4) построение расчетного имитационного комплекса в прикладной программной среде MathCAD; 5) проведение имитационного эксперимента.

Имитационное моделирование. На основе балансовых динамических моделей Дж. Форрестера [6] построена системная модель размыва донного грунта (рис. 1). Модель включает следующие обозначения: h_p – глубина размыва, м; dh_p / du_c – производная глубины размыва по скорости струи, с; dh_p / dv_Δ – производная глубины размыва по скорости размыва, с; dh_p / dl – производная глубины размыва по длине потока; v_Δ – скорость размыва, м/с; dv_Δ / dp_d – производная скорости размыва по гидродинамическому давлению струи, м/(Па·с); dv_Δ / dp_n – производная скорости размыва по гидростатическому давлению, м/(Па·с); p_n – гидростатическое давление, Па; dp_n / dt – производная гидростатического давления по глубине размыва, Па/м; dp_n / dl – производная гидростатического давления по длине потока, Па/м; p_d – гидродинамическое давление, Па; dp_d / du_c – производная гидродинамического давления

Гидростатическое давление [3]

$$p_n = \rho g(h+t)\alpha = 0,01 \cdot 10 \cdot 1000 \cdot (h+t) = 100(h+t), \quad (8)$$

где α – параметр связности грунта, определяемый отношением сухих контактов к опорной части агрегата: $\alpha = 0,01$; ρ – плотность воды: $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$; g – ускорение свободного падения: $g = 9,81 \approx 10 \text{ м/с}^2$; h – глубина над поверхностью воронки размыва, м; t – глубина воронки размыва, м.

С учетом формулы (8) производная гидростатического давления по длине потока

$$\frac{dp_n}{dl} = 100 \frac{dt}{dl}, \quad (9)$$

а производная гидростатического давления по глубине воронки размыва

$$\frac{dp_n}{dt} = 100. \quad (10)$$

Динамическое давление струи [3, 4] составляет

$$p_d = 1,88\alpha\rho u_c^2 \sin \beta = 1,88 \cdot 0,01 \cdot 1000 \cdot u_c^2 \cdot 0,24 = 4,5u_c^2, \quad (11)$$

где β – угол входа струи в воронку размыва, $\beta \approx 14^\circ$.

С учетом выражения (11) производная гидродинамического давления по скорости струи

$$\frac{dp_n}{du_c} = 9u_c. \quad (12)$$

Приняв гипотезу о зависимости скорости размыва v_Δ от статического и динамического давлений вида

$$v_\Delta(p_n) = k_1 \sqrt{p_n}, \quad (13)$$

$$v_\Delta(p_d) = k_2 \sqrt{p_d}, \quad (14)$$

найдем производные скорости размыва по гидродинамическому и гидростатическому давлению

$$\frac{dv_\Delta}{dp_n} = \frac{k_1}{2\sqrt{p_n}}, \quad (15)$$

$$\frac{dv_\Delta}{dp_d} = \frac{k_2}{2\sqrt{p_d}}, \quad (16)$$

где k_1 и k_2 – коэффициенты связи между параметрами размывающей струи.

На основании геометрической теории [5] примем линейный характер зависимости глубины размыва от скорости струи, тогда $h_p = k_3 u_c \sin \beta$ и

$$\frac{dt}{du_c} = k_3 \sin \beta = 0,24k_3, \quad (17)$$

где k_3 – коэффициент связи между параметрами размывающей струи.

Считая глубину размыва обратно пропорциональной скорости размыва $h_p = k_4 / v_\Delta$, найдем

$$\frac{dt}{dv_\Delta} = -\frac{k_4}{v_\Delta^2}, \quad (18)$$

где k_4 – коэффициент связи между параметрами размывающей струи.

После подстановки полученных соотношений в уравнения подсистем системного комплекса (1-5) запишем

$$p_n \cdot l = p_n \cdot 0 + 100 \frac{dt}{dl} Dl, \quad (19)$$

$$p_d \cdot l = p_d \cdot 0 + 9u_c \frac{du_c}{dl} Dl, \quad (20)$$

$$u_c \cdot l = u_c \cdot 0 - \frac{20,4 \bar{v}_n}{l^2} Dl. \quad (21)$$

Имитационный эксперимент. Разработанная модель размыва донного грунта реализована в среде MathCAD. Построенный имитационный комплекс приведен в листинге программы (рис. 2).

```

Δ := 0.1          l := 0, Δ..300   k1 := 1   k2 := 1   k3 := 0.1   k4 := 0.01   vл := 11.8

t(l) := | t ← 0
        | vΔ ← 4.6
        | pn ← 200000
        | pd ← 72.5
        | uc ← 11.8
        | ducdl ← 11.8
        | dpddl ← 1
        | dvΔdl ← 1
        | dt dl ← 0
        | for Dl ∈ 0..1
        |   | t ← t + ( 0.23 k3 · ducdl - k4 ·  $\frac{dv\Delta dl}{v\Delta^2}$  ) · Dl
        |   | dt dl ← ( 0.23 k3 · ducdl - k4 ·  $\frac{dv\Delta dl}{v\Delta^2}$  ) · (Dl - Δ)
        |   | vΔ ← vΔ + ( k1 ·  $\frac{ducdl}{2 \cdot \sqrt{pn}}$  + k4 ·  $\frac{dpddl}{2 \cdot \sqrt{pd}}$  ) · Dl
        |   | dvΔdl ← ( k1 ·  $\frac{ducdl}{2 \cdot \sqrt{pn}}$  + k4 ·  $\frac{dpddl}{2 \cdot \sqrt{pd}}$  ) · (Dl - Δ)
        |   | pn ← pn + 100 · dt dl · Dl
        |   | dpndl ← 100 · dt dl · (Dl - Δ)
        |   | pd ← pd + 9 · uc · ducdl · Dl
        |   | dpdl ← 9 · uc · ducdl · (Dl - Δ)
        |   | uc ← uc -  $\frac{20.4 vл \cdot Dl}{l^2}$ 
        |   | ducdl ←  $\frac{-20.4 vл \cdot (Dl - \Delta)}{l^2}$ 
        | t

```

Рис. 2. Фрагмент листинга имитационной модели, реализованной в среде MathCAD

Интерпретация результатов. Предложенная модель в целом отражает тенденцию повышения глубины воронки размыва за гидротехническим сооружением. Однако в связи с относительно большим интервалом итераций DI на графике решения

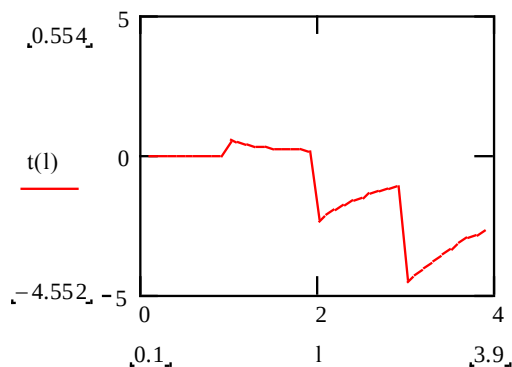


Рис.3. Распределение глубины размыва по длине потока

образуются колебания уровня поверхности воронки размыва. Наличие уступов на графике глубины размыва можно объяснить и с физической точки зрения – неравномерным вымыванием донного грунта, что наблюдалось на фотографиях при проведении лабораторного эксперимента на модели водосливной плотины в гидравлическом лотке. В дальнейших исследованиях будет проанализирован вопрос об уточнении модели и повышении качества выводимого решения. Подход, использованный в работе, не противоречит утверждению о том, что дифференциальные уравнения высоких порядков, описывающие подобные явления, могут быть заменены системой из достаточно большого числа дифференциальных уравнений первого порядка.

Выводы

1. Применение теории струй и размыва к системной модели размыва донного грунта позволило последовательно определить значения коэффициентов связи между параметрами размывающей струи.
2. Кривая размыва получена путем имитационного моделирования в MathCAD.

Список литературы

1. Совершенствование средств инженерно-экологического обустройства водохранилищ ГЭС / А.Г. Поздеев, И.А. Полянин, Е.М. Царев, Ю.А. Кузнецова // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 1. С. 83-98.
2. Милович А.Я. Теория динамического взаимодействия тел и жидкости. М.: Госстройиздат, 1955. 310 с.
3. Мирцхулава Ц.Е. Основы физики и механики эрозии русел. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 303 с.
4. Кузнецов С.К. Теория и гидравлические расчеты нижнего бьефа. Львов: Вища школа, 1983. 176 с.
5. Дмитриев Ю.Я. Гидравлические ускорители на лесосплаве. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 200 с.
6. Форрестер Дж. Мировая динамика. М.: Наука, 1978. 167 с.

MODELING OF JET EROSION OF BOTTOM SOIL

Kuznetsova Yulia Anatolievna

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

For mathematical description of the dynamics of jet erosion of bottom soil, the J. Forrester's balance dynamic model was used.

Keywords: *dynamics of erosion, jet erosion of soil, system model*

УДК 623.12.075

АНАЛИЗ СРЕДСТВ МАЛОЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Ржепкин Андрей Юрьевич

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
rzhepkinay@volgatech.net

Для обоснования параметров микрогидроэлектростанции для условий малых рек проведен морфологический анализ конструкций средств малой гидроэнергетики.

Ключевые слова: микрогидроэлектростанция, морфологический анализ, средства малой гидроэнергетики, объект анализа

Введение. При выборе типа электроснабжения автономных объектов необходимо учитывать удаленность от основных магистралей. Использование электростанций на горючем топливе нецелесообразно из-за необходимости доставки горючего материала, сложности постройки такой электростанции и больших капиталовложений. Также нельзя забывать об экологическом вреде продуктов сгорания [1].

Так как большая часть нашей страны покрыта густой речной сетью, то для электроснабжения автономных объектов лучше всего подходят гидроэлектростанции (ГЭС). Первичным энергоносителем для ГЭС является поток воды, мощность которого достаточно стабильна во времени и определяется его напором и расходом [2].

Для больших ГЭС с дамбами необходимы большие водохранилища и площади для разлива, что приводит к необходимости переселения множества людей [3, 4]. Затопление и изменение потока воды, кроме того, вызывает изменение фауны и флоры вне русла реки. Из-за постоянных или периодических затоплений под ударом оказывается животный и растительный мир района, где находится ГЭС. Если животные могут частично переместиться в новые места обитания вне области водоема, то растительность затопляемых областей считается утраченной [5]. Для некоторых видов рыб могут возникнуть препятствия для их размножения из-за возможного изменения уровня воды во время периода нереста. Изменение потока воды может радикально влиять на питательные вещества и условия икрометания вниз по течению. Изменяется «образование» пищи и ее доступность для рыбы. В дамбе и на местах сброса воды от турбин может выделяться избыточный газ, преимущественно азот, что негативно влияет на рыбу [6]. Водоохранилища вместе с изменением и возможными колебаниями уровня воды, вызванными наличием ГЭС, влияют на уровень грунтовых вод в окружающих районах, что, в свою очередь, может повлиять на качество воды и перемещение осадков в русле реки в результате стока и эрозии [7]. Большие ГЭС требуют развитой инфраструктуры: наличия дорог, необходимых для строительства, высоковольтной распределительной сети большой мощности, крупных промышленных потребителей. Период подготовки и реализации проекта достаточно продолжителен и является довольно дорогостоящим, что оправдывается большими масштабами объекта. Стоимость самого оборудования составляет относительно малую часть общей стоимости проекта [8].

В отличие от крупных ГЭС, работающих в составе энергосистем, микроГЭС в большинстве случаев используются для электроснабжения мелких изолированных по-

требителей, удаленных от сетей централизованного электроснабжения. Основную долю затрат при сооружении крупных ГЭС составляет стоимость гидротехнических сооружений. Для микроГЭС сооружение плотин не требуется. Как правило, используется русловая или деривационная схема электростанции. Русловые микроГЭС устанавливаются непосредственно в поток без сооружения плотины. Деривационные же требуют постройки дополнительных сооружений (отводных каналов и напорных трубопроводов) для повышения напора [7].

Цель работы – определение характеристик объекта-прототипа проектируемой микроГЭС с использованием морфологического подхода.

Решаемые задачи: 1) выбор варианта энергоснабжения автономных объектов; 2) обоснование параметров проектируемого объекта энергоснабжения на основе морфологического анализа существующих конструкций объектов-аналогов.

Аналитическое моделирование. Анализ существующих бесплотинных ГЭС может быть произведен на основе применения методов морфологического анализа [8]. В этом случае выделяются признаки микроГЭС по нескольким классификационным уровням. Для каждого вида микроГЭС составляется анкета, в которой отмечаются совпадения классификационных признаков.

В таблице 1 приведены признаки бесплотинных ГЭС, распределенные по десяти направлениям оценки.

Таблица 1

Классификационные признаки бесплотинных гидроэлектростанций

Классификационный уровень	Признаки	Уровень – признак
По расположению оси вращения	Горизонтальные	(1-1)
	Вертикальные	(1-2)
По способу забора воды	Свободно поточные	(2-1)
	Напорные	(2-2)
По заглублению	Поверхностные	(3-1)
	В средней части потока	(3-2)
	Глубинные	(3-3)
По способу установки	Плавающие (на понтонах)	(4-1)
	Закрепленные на опорах	(4-2)
По мобильности	Стационарные	(5-1)
	Мобильные	(5-2)
По скорости движения рабочего органа	Низкоскоростные	(6-1)
	Высокоскоростные	(6-2)
По продолжительности действия	Сезонные ГЭС	(7-1)
	Всесезонные ГЭС	(7-2)
По наличию сменных модулей	Модульная система	(8-1)
	Неизменная система	(8-2)
По степени автоматизации	Автоматизированные	(9-1)
	Частично автоматизированные	(9-2)
По виду рабочего органа	По типу гребного колеса	(10-1)
	Турбинного типа	(10-2)
	Гидротаранного типа	(10-3)
По материалу рабочего органа	Металл, жесткие полимеры	(11-1)
	Гибкие материалы	(11-2)
По расположению в потоке рабочего органа	Вдоль потока	(12-1)
	Поперек потока	(12-2)

Проанализируем четырнадцать видов микроГЭС, описания которых даны выше: 1 – рукавная гидроэлектростанция; 2 – микроГЭС с турбиной; 3 – микроГЭС с гидротараном; 4 – пропеллерная микроГЭС; 5 – микроГЭС Ленёва; 6 – микроГЭС на кольцевом потоке; 7 – микроГЭС на спиральном потоке; 8 – микроГЭС с эластичными и жесткими лопатками; 9 – микроГЭС с угловым зубчатым колесом; 10 – горизонтально-лопастная ГЭС; 11 – микроГЭС с промежуточным резервуаром; 12 – глубинная подвесная многороторная ГЭС; 13 – микроГЭС с ковшовой гидротурбиной; 14 – микроГЭС с разделяющей пластиной.

Результаты морфологического анализа. Результаты морфологического анализа указанных видов микроГЭС представлены в таблицах (табл. 2, 3).

Таблица 2

Распределение признаков микроГЭС

Уровень – признак	Порядковый номер микроГЭС														Сумма баллов	Значение весовой функции
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
(1-1)	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	8	0,28
(1-2)	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	6	0,21
(2-1)	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	9	0,32
(2-2)	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	5	0,17
(3-1)	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	4	0,095
(3-2)	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	8	0,19
(3-3)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3	0,07
(4-1)	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	6	0,21
(4-2)	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	8	0,28
(5-1)	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	7	0,25
(5-2)	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	7	0,25
(6-1)	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	7	0,25
(6-2)	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	7	0,25
(7-1)	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	10	0,35
(7-2)	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	4	0,14
(8-1)	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	7	0,25
(8-2)	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	7	0,25
(9-1)	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	7	0,25
(9-2)	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	7	0,25
(10-1)	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	4	0,095
(10-2)	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	9	0,21
(10-3)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,02
(11-1)	1	1	1	1	0	1	1		1	1	1	1	1	1	12	0,42
(11-2)	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0,07
(12-1)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,04
(12-2)	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	0,46

Рейтинговая оценка микроГЭС выполнена путем введения весовых функций по зависимости [11]:

$$W_{ij} = \frac{n_i}{3 \cdot N},$$

где n_i – число соответствий признаку; N – число анализируемых микроГЭС.

В результате построена таблица весовых функций видов микроГЭС (табл. 3).

Таблица 3

Весовые функции видов микроГЭС

i\j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,28	0,32	0,095	0,21	0,25	0,25	0,35	0,25	0,25	0,095	0,42	0,04
2	0,21	0,17	0,19	0,28	0,25	0,25	0,14	0,25	0,25	0,21	0,07	0,46
3	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0

Интерпретация результатов. На основании анализа весовых характеристик распределения признаков 14 видов микроГЭС установлено, что наибольшей частотой повторяемости характеризуются уровни 1-1, 2-1, 4-2, 7-1, 10-2, 11-1, 12-2. На этом основании можно заключить, что обобщенный объект-прототип отличается следующими характеристиками:

- по расположению оси вращения ротора – объект с горизонтальной осью вращения ротора (занимает большую площадь по отношению к варианту с вертикальной осью, но эта схема менее требовательна к установке гидротурбины и положению опорного фундамента);
- по способу забора воды – свободнопоточный, безнапорный;
- по способу установки – закрепленный на опорах;
- по продолжительности действия – сезонного действия;
- по виду рабочего органа – с турбиной, выпускаемой серийно;
- по материалу рабочего органа – с рабочим органом из металла или жестких полимеров;
- по расположению в потоке рабочего органа – в поперечном потоке направления.

Для удешевления электроснабжения потребителей в отдаленных труднодоступных районах Республики Марий Эл и в качестве альтернативного источника в случае нарушения централизованного электроснабжения в таких районах предлагается использование бесплотинных микроГЭС. Основными потребителями могут быть базы отдыха, различные сельскохозяйственные объекты, небольшие поселки, коттеджи, расположенные в зонах децентрализованного электроснабжения. Использованию микроГЭС благоприятствует гидрографическая характеристика республики, водный фонд которой включает 169 рек и 307 ручьев общей протяженностью 7 тыс. км, средняя скорость течения воды в которых составляет 3,5 км/ч, или 1 м/с.

МикроГЭС не требуют больших капитальных вложений, не оказывают негативно-го воздействия на окружающую среду; для их обслуживания не нужен квалифицированный персонал [10]. Гидротехнические сооружения малых ГЭС не подтопляют леса и сельскохозяйственные угодья, не приводят к сносу и переносу населенных пунктов. МикроГЭС позволяют сохранить ландшафт и окружающую среду в процессе строительства и на этапе эксплуатации.

Проведенный морфологический анализ существующих микроГЭС на основании выделенных классификационных признаков позволил сделать вывод, что при разработке проекта для повышения КПД следует стремиться к облегчению конструкции за счет применения гибких материалов для изготовления ротора. В силу того что по климатическим условиям подавляющее число микроГЭС относится к устройствам сезонного действия, ротор должен легко демонтироваться с рамной конструкции и устанавливаться обратно, что сложно осуществить при использовании в качестве ротора турбин, выпускаемых серийно – громоздких и тяжелых.

Выводы

1. В качестве источника энергоснабжения автономных объектов предлагается бесплотинная микроГЭС. Применение микроГЭС позволяет снизить антропогенную нагрузку на природную среду, сократить расходы на строительство объекта энергоснабжения и его эксплуатацию.

2. Параметры объекта-прототипа определены на основании морфологического анализа известных аналогов. Объектом-прототипом является бесплотинный вариант микроГЭС, закрепляемой в поперечном створе потока на опорах или раме. Для облегчения конструкции могут быть использованы гибкие (полимерные, тканевые) материалы, также требуется разработка гидроколеса микроГЭС облегченной конструкции. При выборе конструктивных параметров проектируемого объекта требуется учет климатических условий района эксплуатации. Необходимо предусмотреть возможность перестройки режима работы микроГЭС.

Список литературы

1. Березовский Н.И. Технология энергосбережения. Минск: БИП-С Плюс, 2007. 152 с.
2. Поздеев А.Г. Совершенствование средств инженерно-экологического обустройства водохранилищ ГЭС // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 1. С. 83-98.
3. Гринкевич Р. Тенденции мировой электроэнергетики // Мировая экономика и международные отношения. 2003. № 4. С. 15-24.
4. Инженерно-техническое обеспечение АПК: реферативный журнал. 2005. № 1. С. 52.
5. Стребков Д.С. Проблемы развития возобновляемой энергетики // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1997. № 6. С. 4-8.
6. Обухов С.Г. Мигрогидроэлектростанции: конспект лекций. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2003. 63 с.
7. Поздеев А.Г., Липчак С.В. Проблемы классификации и терминологии малых ГЭС // Рациональное использование водных ресурсов в системе управления регионом: материалы всерос. науч.-практ. конф. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. С. 248.
8. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: пер. с англ. М.: Радио и связь, 1993. 320 с.
9. Поздеев А.Г., Кузнецова Ю.А. Моделирование систем: учеб. пособие. Сыктывкар: СЛИ, 2010. 308 с.
10. Лукутин Б.В. Возобновляемые источники электроэнергии. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2008. 187 с.

ANALYSIS OF SMALL-SCALE HYDROPOWER ENGINEERING FACILITIES BASED ON MORPHOLOGICAL APPROACH

Rzhepkin Andrey Yurievich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

To substantiate the parameters for a microhydrostation in small river conditions, the morphological analysis of the small-scale hydropower engineering facilities was carried out.

Keywords: *microhydrostation, morphological analysis, small-scale hydropower engineering facilities, object of analysis*

УДК 626.4.001.24

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ГРУЗОБОРОТА ЛЕСО-СУДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Сапцин Валерий Петрович, Турецких Светлана Олеговна

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола,
SapcinVP@volgatech.net

Для увеличения грузооборота лесо-судопропускного сооружения предлагается использовать продольные боковые галереи. В судоходных шлюзах боковые галереи могут обеспечить защиту затворов нижней головы от навала судна, идущего со стороны верхнего бьефа, за счет дополнительной волны навстречу входящему судну. Галереи могут быть пассивными или с управляющим элементом (насосом). Установлено, что даже применение пассивных обводных галерей увеличивает пропускную способность судоходного шлюза за счет оптимальных величин скорости входа (выхода) судов, секций плотов.

Ключевые слова: судоходный шлюз, транспортные судоподъемники, затворы, лесовозные суда, баржи

Введение. Судопропускные сооружения возводят с целью преодоления значительных напоров воды при транзитной транспортировке грузов через гидроузлы.

Однако в стационарных судоходных шлюзах основными затворами являются двустворчатые ворота на нижней голове, воспринимающие полный напор на сооружение. Эти ворота подвержены навалу заходящих в камеру судов со стороны акватории верхнего бьефа. Возможные причины – значительная скорость входа, неуправляемость судна, неисправность работы двигателя, не вовремя дан сигнал на торможение, другими словами, «человеческий фактор». При самом неблагоприятном стечении обстоятельств может произойти даже разрушение ворот и судна, как следствие – прорыв напорного фронта воды, а это – гидродинамическая авария на гидроузле [1].

С 1974 года в строительных правилах по судоходным шлюзам на такие нагрузки от навала судов при строительстве новых судопропускных сооружений для возможной защиты двустворчатых ворот предусмотрены предохранительные устройства [2]. Однако из 110 обследованных судоходных шлюзов, эксплуатируемых в настоящее время, предохранительные устройства установлены только на 6 шлюзах, а это чуть более 5% [1].

Каждый навал судна влечет за собой возможное повреждение элементов ворот и судна, что может привести к остановке движения на водном пути на срок от 2 до 30 суток. Неритмичная работа водного транспорта приводит к значительным потерям. Так, специалисты-экономисты отмечают, что, например, на шлюзах США только 1 минута простоя судов приводит к экономическим потерям до 3 млн долларов. Это обстоятельство еще раз подчеркивает актуальность проблемы.

Цель работы – предложить пути повышения грузооборота лесо-судопропускных сооружений.

Решаемые задачи – повышение грузооборота лесо-судопропускных сооружений за счет боковых галерей и обеспечение защиты основных двустворчатых ворот на нижней голове судоходного шлюза от навала входящего в камеру судна со стороны верхнего бьефа за счет перепада уровней воды в камере.

Интерпретация результатов. В настоящее время для защиты ворот от навала судов на ворота или перед ними применяют предохранительные устройства.

По конструкции заграждающего элемента (преграды) устройства могут быть жесткими (в виде балки) или гибкими (в виде цепи, стального каната). При открывании ворот заграждающий элемент убирают. По принципу преобразования (поглощения) энергии навала судна существуют гравитационные (с противовесами), фрикционные, гидравлические и другие устройства. Наиболее энергоемки и компактны предохранительные устройства с гидравлическими амортизаторами и гибкой преградой.

Для прохода судна стальной канат (цепь) отдельно или вместе с амортизатором может быть опущен на дно камеры (рис. 1, а), поднят на пилонх вверх (рис. 1, б) или убран с одного устоя головы нижнего бьефа на другой с помощью поворотной балки, подобной шлагбауму (рис. 1, в).

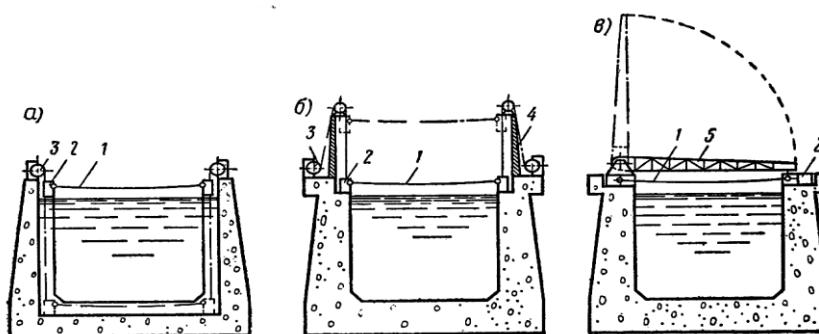


Рис. 1. Схемы предохранительных устройств для защиты ворот от навала судов:
а – с ограждающим элементом, опускающимся на дно; б – с заграждающим элементом, поднимающимся вверх; в – с поворотным заграждающим элементом; 1 – стальной канат;
2 – амортизатор; 3 – механизм перемещения заграждающего элемента; 4 – пилон;
5 – вспомогательная поворотная балка

Во всех случаях основной частью предохранительного устройства является гидравлический амортизатор: два цилиндра с поршнями, к штокам которых прикреплены концы стального каната (цепи). Возникающее при навале судна усилие передается на поршни. Перемещаясь, поршни вытесняют масло из цилиндров через регулируемые клапаны в трубы и далее в воздушные аккумуляторы, поршни которых сжимают находящийся под давлением воздух. После затормаживания судна накопленная в аккумуляторах энергия (сжатый воздух) возвращает поршни гидравлических цилиндров в исходное положение [3].

Все существующие системы, предохраняющие ворота шлюзов от навала судов, имеют эксплуатационные недостатки, которые заключаются в следующем:

- перед каждым входом судна в шлюз необходимо установить заградительный элемент в судоходный пролет перед воротами, а после остановки судна в камере шлюза заградительные элементы (цепь, канат, балку, ферму) убрать из судоходного пролета;
- заградительный элемент расположен на дне шлюза ниже осадки входящего в камеру судна (рис. 1, а), а для выполнения защитных функций этот элемент должен быть поднят выше уровня воды, при этом данная система имеет сложные узлы соединения с амортизаторами;
- заградительный элемент расположен выше надводных надстроек судна, для чего подвешен на 2-х специальных пилонх (рис. 1, б), установленных на устоях головы, затем этот элемент опускается на высоту для удержания судна;

- заградительный элемент ставится в судоходный пролет и убирается из него посредством поворотной балки (рис. 1, в), для чего на одной стене шлюза устанавливается специальный механизм, обеспечивающий поворот балки (подъем и опускание), на другой стене обязательно должен быть специальный фиксатор, который автоматически фиксирует другой конец заградительного элемента, подаваемый шлагбаумом. При этом данная система достаточно сложна и ненадежна: из-за ветровой нагрузки, неравномерного солнечного прогрева в утренние часы происходит деформация балки, что затрудняет автоматическую фиксацию другого конца заградительного элемента.

Предложен другой способ защиты ворот шлюза от навала судна [4] (рис. 2): на нижней голове шлюза размещаются емкости с водой, для надежной работы которых требуется непрерывная подкачка воды, обязательное наличие быстродействующих затворов для прекращения поступления воды, наличие фиксаторов (подхватов).

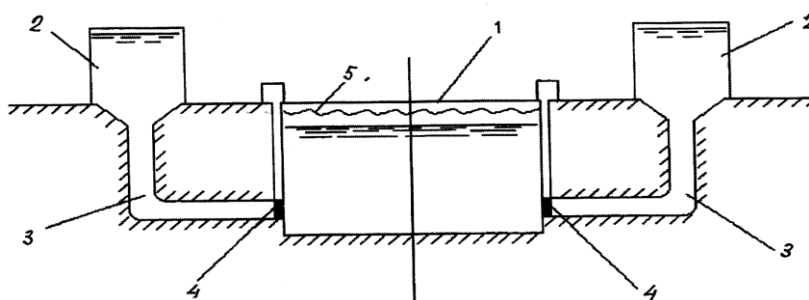


Рис. 2. Способ защиты ворот шлюза от навала судна:

1 – двустворчатые ворота шлюза; 2 – резервуары с водой; 3 – водоводы;
4 – быстропадаяющие затворы; 5 – волна, предотвращающая удар судна в ворота

Имитационное моделирование использовалось применительно к судопропускным гидротехническим сооружениям, в частности к стационарным судоходным шлюзам (может быть рекомендовано к наклонным судоподъемникам с продольной и поперечной компоновками) (рис. 3).

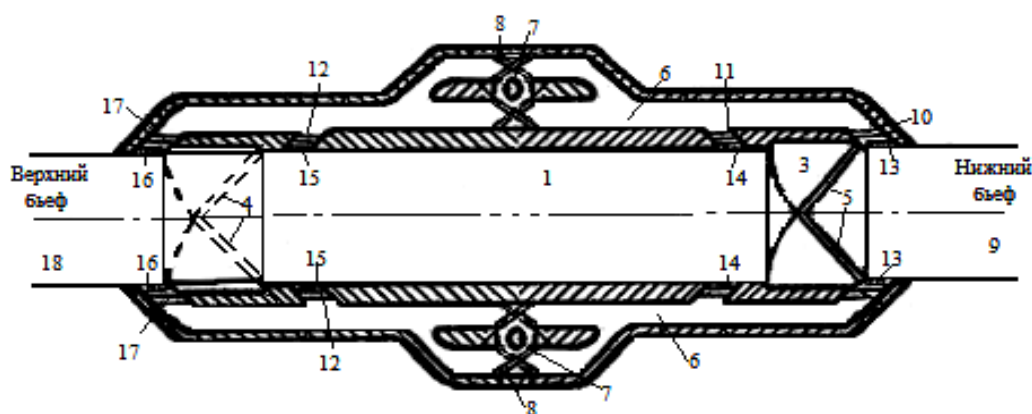


Рис. 3. Устройство для повышения грузооборота судопропуска и защиты затворов камеры

Шлюз содержит камеру 1, ворота 4 и 5, верхнюю 2 и нижнюю 3 головы и боковые продольные галереи 6, соединенные с участками в торцах камеры 1 и нижним бьефом 9. Боковые продольные галереи 6 в местах присоединения оборудуются задвижками 10, 12 и сороудерживающими решетками 13, 15. В среднюю часть галерей 6 вмонти-

рован управляющий элемент – насос 7, позволяющий аннулировать перепад уровней между торцовыми стенками камеры 1 или нижним бьефом 9 и даже создавать отрицательный перепад за счет принудительного перетока воды по галереям 6 в сторону верхнего и нижнего бьефов 18 и 9. Это позволяет увеличивать скорости судна (секции плота) при входе в камеру и выходе из нее.

Процесс защиты двустворчатых ворот камеры осуществляется следующим образом. Самоходное судно 17 (на рис. 2 оно не показано) находится в верхнем бьефе 18, ворота 4 открыты, спрятаны в ниши головы 2. При заходе судна фиксируется его скорость, возникает волна повышения, далее выключается тяга двигателя, а двигатель не выключается (для возможного реверса системы). Судно движется по инерции. Открываются задвижки 12 и 11, через отверстие 14 из отверстия 15 вода поступает в голову 3, защищая ворота 5 за счет встречного движения волны повышения. Вода может поступать при открытии задвижек 10 и 12, через отверстие со стороны нижнего бьефа, оборудованное сороудерживающими решетками 13 и 14 (рис. 3). При входе судна со стороны нижнего бьефа двустворчатые ворота 5 открыты, размещены в нише головы 3. Фиксируется скорость движения судна, судно движется по инерции. Открываются задвижки 14 и 12, и через отверстие, оборудованное сороудерживающими решетками 15, встречная волна перед входящим судном поступает за счет перетока воды из камеры или из акватории верхнего бьефа.

При головной системе питания шлюза возникает необходимость в продольных боковых галереях или прокладке трубопровода с регулирующим элементом (насосом).

Многочисленные экспериментальные и аналитические исследования, изложенные в работах [6, 7], позволяют считать, что пути повышения грузооборота судопропускных сооружений и мониторинг защиты ворот судоходного шлюза от навала судна будут обеспечены.

Подобными боковыми галереями для повышения надежности работы судопропускного сооружения и увеличения их пропускной способности предлагается оборудовать камеры судоподъемников, которые будут перемещаться вместе с движущейся камерой.

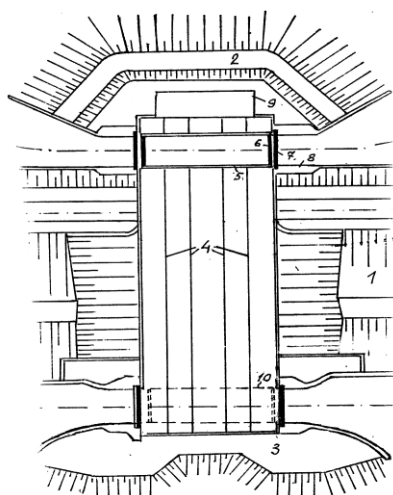


Рис. 4. Компоновка наклонного судоподъемника с поперечным движением камеры:
1 – грунтовая плотина; 2 – дамба обвалования с верхнего бьефа; 3 – отсыпка с нижнего бьефа;
4 – наклонные рельсовые пути камеры и противовесов; 5 – камера судоподъемника; 6 – затворы
камеры; 7 – затворы каналов; 8 – причальные сооружения; 9 – машинный зал;
10 – камера судоподъемника в нижнем бьефе

Предпочтительнее оборудовать такими устройствами наклонные судоподъемники с поперечной компоновкой [8, 9]. Это единственный вид судопропускного сооружения, который может иметь затворы с обоих торцов камеры при соответствующей компоновке трассы сооружения (рис. 4). Затворы в торцах камеры и в подводящем (отводящем) канале в этом случае планируются металлическими плоскими с вертикальным подъемом (спуском). За счет совмещения операций ввода (вывода) судна (секций плота) при открытых затворах в торцах камеры, по прикидочным расчетам, время на эти операции будет затрачено на (10...15)% меньше, чем при входе (выходе) судна в тупиковую камеру.

Выводы

1. Предложенное устройство (см. рис. 3) позволяет увеличить скорости судна (секции плота) при входе в камеру и выходе из нее. В результате сокращается время судопропуска, что повышает грузооборот судопропускного сооружения.

2. Повышение надежности работы системы защиты ворот от навала судов и обеспечение пропускной способности сооружения достигается тем, что остановка аварийного судна перед воротами производится встречной волной, без переделки конструкции шлюза. Управляющий насос в момент, предшествующий навалу судна на ворота для защиты ворот нижней головы, формирует поток воды путем образования встречной волны, идущей против входящего судна. Воду подают в камеру из отверстия в верхней голове или из нижнего подходного канала, а для защиты ворот верхней головы воду в камеру подают из отверстия в нижней голове или из акватории верхнего бьефа. Надежность обеспечивается тем, что устройство обладает симметрией: при невозможности подачи воды из камеры шлюза или из одного из бьефов возможна подача воды в камеру из другого бьефа.

Список литературы

1. Богатырев В.Г. Устойчивость двухстворчатых ворот шлюза при навале судна: автореф. дис. ... канд. техн. наук, спец. 05.23.07-Гидротехническое строительство. Новосибирск: НГАСУ, 2013. 17 с.
2. П-864-88. Пособие по проектированию судоходных шлюзов к СНиП 2.06.07-87 «Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения» / сост. Б.П. Петухов. М., 1988. 322 с.
3. Быков А.С., Бочаров В.В. Гидротехнические сооружения на внутренних водных путях. М.: Транспорт, 1987. 288 с.
4. Патент №2335599. Способ защиты ворот шлюза от навала судна / Колосов М.А. Опубл. 10.10.2008. БИ № 28.
5. Патент 1735485. Судоходный шлюз / А.А. Атавин, В.П. Сапцин, А.П. Яненко. Опубл. 1992. БИ №19. С. 130.
6. Атавин А.А., Васильев О.Ф., Яненко А.П. Гидродинамические процессы в судопропускных сооружениях. Новосибирск: ВО «Наука», Сибирская издательская фирма, 1993. 101 с.
7. Атавин А.А., Тарасевич В.В., Яненко А.П.. Судоходные шлюзы и пути увеличения их пропускной способности // Известия вузов. Строительство. 2012. № 2. С. 56-63.
8. Сапцин В.П., Лаврентьев Б.Ф. Режимы движения камеры транспортного судоподъемника для перевозки лесных грузов // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2012. № 1. С. 65-74.
9. Сапцин В.П., Турецких С.О. Обоснование строительства судопропускных сооружений на гидроузлах // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. Т. 2: Мо-

дернизация транспортных систем. Урбанистика территорий. Охрана окружающей среды. Техносерная и транспортная безопасность. Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. С. 331-340.

WAYS OF INCREASING OF GOODS TURNOVER OF THE WOOD SHIPPING CONSTRUCTION

Saptsin Valeri Petrovich, Turetskich Svetlana Olegovna,

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

It is proposed to use longitudinal lateral galleries to increase the turnover of the wood shipping construction. In navigable gateways lateral galleries can provide the protection of locks of the bottom head from bulk the vessel going from top pool, at the expense of an additional wave towards to an entering vessel. Galleries can be passive or with operating element (pump). It is established, that even application of passive bypass galleries increases the capacity of a navigable gateways at the expense of optimum sizes of speed of an entrance (exit) of vessels and sections of rafts.

Keywords: *navigable gateways, transport inclined planes, shutter, forest vessels, and barges*

УДК 620.91

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ АККУМУЛИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В РЫБОВОДНОЙ УСТАНОВКЕ ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Турлов Алексей Генрихович

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
TurlovAG@volgatech.net

Предложено использовать часть объема воды, циркулирующей в рыбоводной установке замкнутого водоснабжения, для аккумуляции солнечной энергии. На основе математического моделирования тепловых потоков определены допустимые объемы аккумуляции баков.

Ключевые слова: *рыбоводная установка, теплопотери, солнечная энергия, аккумуляция тепла*

Введение. Существующие индустриальные методы рыбоводства предусматривают выращивание рыбы внутри закрытых помещений в установках замкнутого водоснабжения. Данная технология обладает рядом достоинств, среди которых одной из основных является возможность поддержания круглогодичной оптимальной для роста рыбы температуры. Это позволяет значительно интенсифицировать рост рыбы, а также обеспечивать многократное в течение года получение потомства. Главным фактором, ограничивающим применение данных технологий, является большое потребление энергии на обеспечение теплового, кислородного и гидрохимического режима. Наибольшие затраты энергии идут на поддержание требуемых температур в рыбоводных бассейнах, которые составляют 25-28 °С.

Одним из возможных путей снижения энергозатрат является использование солнечной энергии. При этом имеются два момента, обеспечивающие большую эффективность данной технологии, например, по сравнению с жилыми или производственными зданиями. Во-первых, для установки замкнутого водоснабжения, расположен-

ной в средней полосе России, потребность в тепле не ограничивается шестью месяцами отопительного сезона. Обеспечить температуру воды в бассейнах свыше 25 °С без дополнительного нагрева можно только в июле. Значит, можно максимально использовать летний период интенсивной солнечной радиации. Во-вторых, в установке замкнутого водоснабжения циркулируют огромные объемы воды, часть которых можно использовать для аккумулирования тепла. В среднем за счет сооружений для очистки воды, входящих в состав установок замкнутого водоснабжения, общий объем воды в системе в два и более раз превосходит объем воды в рыбоводных бассейнах. При этом важно обеспечить стабильность температуры в бассейнах, разбавляя выходящую из очистных сооружений и остывшую воду нагретой водой из аккумулирующей емкости.

Цель работы – разработать математическую модель, позволяющую оптимизировать тепловые потоки в системе емкостей рыбоводной установки замкнутого водоснабжения в зависимости от изменяющихся погодно-климатических факторов.

Решаемые задачи: 1) создать математическую модель процесса солнечной инсоляции на поверхности рыбоводного модуля; 2) смоделировать процессы теплопотерь рыбоводного модуля в условиях реального периода года; 3) определить оптимальные объемы аккумулирующей емкости.

Математическое моделирование. Для максимального использования возможностей возобновляемых источников энергии предложена оригинальная конструкция ры-

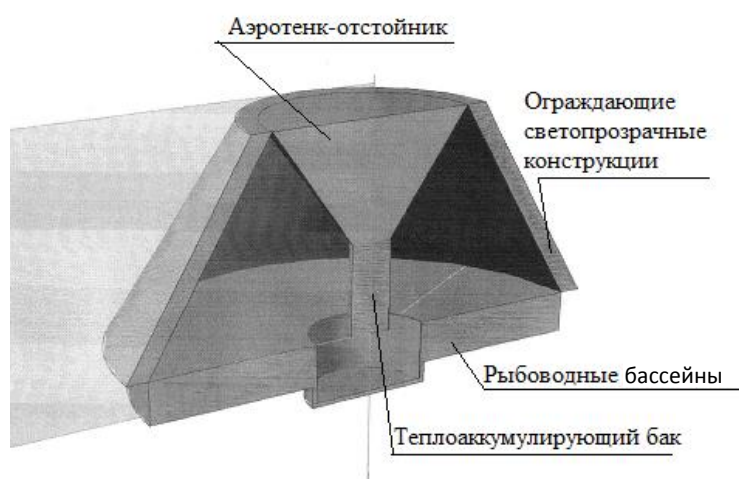


Рис 1. Конструкция рыбоводного модуля

боводного модуля [1], сочетающего снижение теплопотерь за счет минимизации ограждающих поверхностей и максимальное использование солнечной энергии. Модуль имеет ограждающую конструкцию в форме усеченного конуса и расположенную на верхнем основании накопительную емкость, выполняющую роль аэротенка-отстойника (рис. 1).

За счет осесимметричной формы интенсивность суммарной солнечной инсоляции на боковую поверхность и зеркало

воды в воронке зависит только от высоты солнца над горизонтом и проницаемости атмосферы. Для расчета инсоляции был принят метод солнечной константы [2].

Интенсивность прямой солнечной радиации определяется по формуле.

$$S_{gh} = S_{\max} \cdot \cos \theta \cdot K_{am}, \quad (1)$$

где $S_{\max}$ – солнечная константа, равная 1362 Вт/м²; θ – приведенный угол падения солнечных лучей на поверхность инсоляции; K_{am} – коэффициент, учитывающий поправку на воздушную массу, которую необходимо пройти лучу, зависящий от высоты солнца над горизонтом в конкретный момент времени.

Проведенное моделирование позволило получить зависимости изменения солнечной радиации на боковую поверхность Q_s и поверхность воды в аэротенке Q_{so} от календарной даты, времени суток и угла наклона стенки конуса (рис. 2).

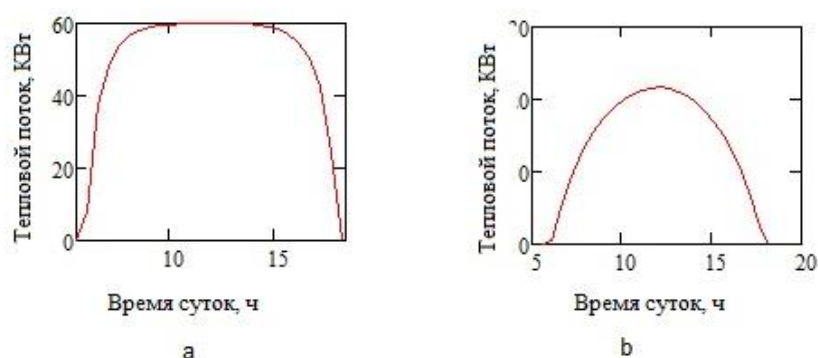


Рис. 2. Изменение интенсивности прямой солнечной радиации на боковые ограждающие конструкции модуля (а) и водную поверхность азротенка-отстойника (b)

Структура тепловых потоков рыбоводного модуля с установкой замкнутого водоснабжения представлена на рисунке 3. Данная структура показывает сложную взаимосвязь тепло- и массообменов между воздушными и водными средами. Для последовательного анализа процессов тепло- и массопереноса общая схема разбита на составляющие.

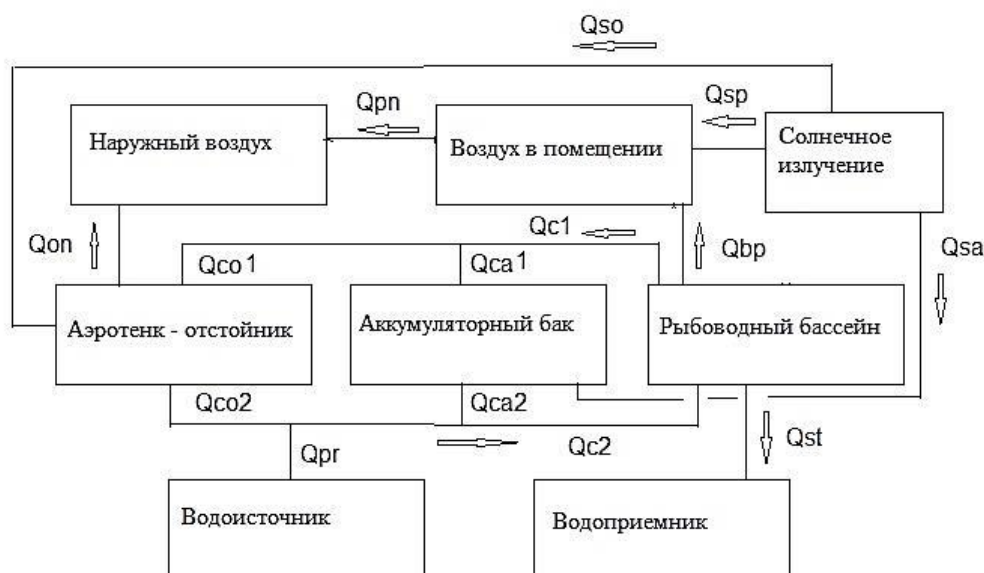


Рис. 3. Структурная схема тепло- и массопереноса в рыбоводном модуле

Моделирование велось при следующих условиях. Температура и влажность наружного воздуха, а также скорость ветра в зависимости от времени суток являются задаваемыми параметрами и определяются по фактическим метеоданным за характерные календарные периоды. Температура воды в рыбоводных бассейнах является величиной постоянной, определяемой рыбоводными требованиями.

Исходя из данных допущений, тепловой баланс воздуха в помещении определяется по формуле

$$Q_{bp} + Q_{sp} = Q_{pn}, \quad (2)$$

где Q_{bp} – теплотери бассейна в помещение; Q_{sp} – тепловой поток солнечного излучения, проникающий в помещение:

$$Q_{sp} = Q_s - Q_{sa}, \quad (3)$$

где Q_s – поток солнечного излучения на внешние стены помещения; Q_{sa} – часть солнечного излучения, перехватываемого на аккумулирование тепла; Q_{pn} – теплопотери помещения в наружный воздух.

Решение уравнения (2) позволяет определить установившуюся температуру воздуха на основе баланса входящих и выходящих потоков в помещение, а с учетом задаваемых ограничений по максимальной и минимальной температуре в помещении определить количество теплоты, направляемой на аккумулирование или дефицит теплоты, покрываемый дополнительными нагревательными приборами.

Тепловой баланс рыбоводных бассейнов определяется по формуле

$$Q_{os2} + Q_{pr} = Q_{bp} + Q_{c1} + Q_{st} + Q_{gr}, \quad (4)$$

где Q_{os2} – тепловой поток с циркулирующей водой, втекающей в бассейн; Q_{pr} – тепловой поток с притоком свежей воды из водоисточника; Q_{c1} – тепловой поток с циркулирующей водой, вытекающей из бассейна; Q_{st} – тепловой поток с водой, сливаемой в водоприемник при промывках системы; Q_{gr} – теплопотери бассейна в грунт.

Поскольку при постоянстве температуры воды в бассейне в выражении (4) все величины, кроме Q_{bp} , постоянные, требуемая температура циркулирующей воды на входе в бассейн определяется только температурой в помещении и зависит, в свою очередь, от соотношения долей циркуляционного потока, проходящего через аэротенк-отстойник и аккумулятор, и температур в последних.

Текущая температура в аэротенке-отстойнике определяется из условия баланса тепловых потоков:

$$dW_o / dt = Q_{co1} + Q_{so} - Q_{on} - Q_{co2}, \quad (5)$$

где dW_o / dt – изменение энтальпии воды в аэротенке-отстойнике за время dt ; Q_{co1} – тепловой поток, поступающий с циркулирующей водой из бассейна; Q_{so} – тепловой поток солнечного излучения на поверхность воды в аэротенке-отстойнике; Q_{on} – теплопотери аэротенка-отстойника в наружный воздух; Q_{co2} – потери тепла с выходящей циркулирующей водой.

Текущая температура в аккумуляторном баке определяется по формуле

$$dW_a / dt = Q_{ca1} + Q_{sa} - Q_{ca2}, \quad (6)$$

где dW_a / dt – изменение энтальпии воды в аккумуляторе за время dt ; Q_{ca1} – поток тепла с входящей в аккумуляторный бак циркулирующей водой; Q_{sa} – перенаправленный в аккумулятор поток солнечной энергии; Q_{ca2} – потери тепла с выходящей из аккумулятора циркулирующей водой.

При этом температура воды в аккумуляторном баке не может быть меньше температуры в бассейне и больше 90 °С.

Данный алгоритм был реализован в программной среде MathCad [3].

Интерпретация результатов. Проведенное моделирование в среде MathCad показывает, что, несмотря на слабую интенсивность солнечной радиации в осенние и весенние дни, возможности аккумулирования солнечной энергии существуют. Так, во время солнечного равноденствия при среднесуточной температуре 0 °С суммарный объем аккумуляции энергии составляет 36,8 % от общих теплопотерь модуля. При общем дефиците энергии около 20%. Однако определяющими при назначении параметров аккумулирующей емкости являются более теплые периоды года, поскольку чрезмерный нагрев воды может привести к повышению температуры рыбоводных

бассейнов. На рисунке 4 приведены кривые баланса, рассчитанные для 15 мая при температуре 6 °С. Анализ показывает, что при общем префиците энергии 18% максимальный объем аккумуляирования составляет 68,5% от теплопотерь. Учитывая, что максимальный нагрев воды в баке не должен превышать 95 °С, минимальный объем аккумуляирующей емкости составляет около 6% от общего объема воды в системе при суточном использовании аккумулятора. Данные расчеты приведены для периода ясной погоды.

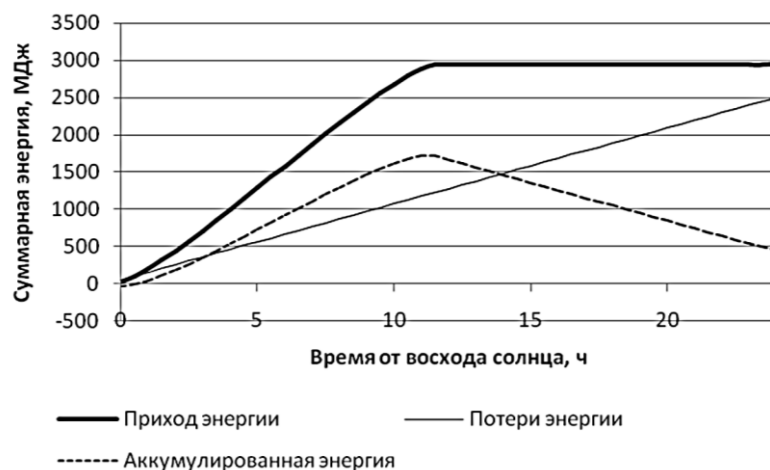


Рис. 4. Расчетные суммарные энергопотоки рыбоводного модуля на 15 мая при среднесуточной температуре 0 градусов Цельсия и ясном небе для 56 градусов северной широты

Выводы. В рамках исследования создана математическая модель теплового баланса автономного рыбоводного модуля с замкнутой системой водоснабжения. Определены допустимые интервалы соотношения емкости аккумуляторного бака, очистных сооружений и рыбоводных бассейнов.

Список литературы

1. Пат. 2489850 РФ, МПК А01К61/00. Автономный рыбоводный модуль / А.Г. Турлов, А.С. Баранов, М.Э. Ефимов, А.Ю. Зарницын, С.Э. Лисков, Д.С. Плотников (РФ). №2012103917/13; заявл. 03.02.2012; опубл. 20.08.2013, Бюл. № 23. 7 с.
2. Кондратьев К.Я., Пивоварова З.И., Федорова М.П. Радиационный расчет наклонных поверхностей. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 216 с.
3. Поздеев А.Г., Алибеков С.Я., Царев Е.М. Динамические теплообменники скороморозильных аппаратов агроинженерных комплексов // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2008. № 2(3). С. 86-90.

EVALUATION OF SOLAR ENERGY ACCUMULATION IN RECIRCULATING FISH CULTURE SYSTEM

Turlov Aleksey Genrikhovich

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

It is proposed to use a portion of the amount of water circulating in the recirculating fish culture system for solar energy accumulation. Based on mathematical modeling of heat flows, allowable volumes of storage tanks were determined.

Keywords: fish culture system, heat loss, solar energy, heat accumulation

УДК 674:658.567.1

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

*Филина Наталья Александровна*ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, Йошкар-Ола
FilinaNA@volgatech.net

Приведен способ очистки водной поверхности от нефтяных загрязнений, который может быть использован для очистки водных объектов от пленки аварийно-разлитой и другой плавающей нефти. Разработаны математические модели процесса сорбции древесных отходов в программной среде Curve Expert 1.3.

Ключевые слова: углистая масса, сорбция, результаты моделирования

Поиск новых сорбентов для очистки поверхности водных объектов от нефтяных загрязнений является актуальной задачей. Древесина – дешевое сырье для получения сорбентов, причем уникальным сорбентом является древесный активированный уголь.

Цель работы – выявить статистические закономерности процесса сорбции нефтепродуктов древесными отходами.

Решаемые задачи: 1) факторный анализ процесса сорбции; 2) определение статистических закономерностей процесса сорбции нефтепродуктов древесными отходами.

Техника эксперимента. Структура потребления углистой массы, по данным [1], следующая (%): производство пищевых продуктов – 42,6; технологическое использование – 38,0; охрана окружающей среды – 10,0; очистка питьевой воды – 4,7; производство медицинских препаратов – 4,7.

В патенте на изобретение [2] приведены данные по экспериментам (табл. 1).

Таблица 1

Экспериментальные данные [2] по сорбции древесных опилок

Температура пиролиза древесной фракции T , °C	Степень обугливания ζ , %	Толщина нефтяной пленки h , мм	Нефтеемкость сорбента E , кг/кг	Содержание в нефтешламе, % мас.	
				воды ν_w	нефти ν_n
25	0	7.13	2.47	16.94	59.12
105	0	5.83	2.63	12.97	63.08
150	2.18	4.92	2.85	10.46	66.29
200	3.88	4.69	3.00	9.71	67.72
250	6.68	8.85	3.24	9.46	69.19
300	13.90	2.23	3.70	9.34	71.37
350	16.24	3.87	4.28	9.42	73.43
400	18.43	9.10	5.13	9.03	76.13
600	24.27	2.46	6.52	8.38	79.44

По данным [2, 4, 5], очистка водной поверхности от нефтяных загрязнений выполняется порошком в виде углистой массы. Она получается при карбонизации измельченных и подсушенных древесных отходов в интервале температур 300-350 °C в инертной среде до степени обугливания 13-16 %.

В интервале температур 200-300 °C емкость рассматриваемых поглотителей нефти составляет 3,0-3,7 кг/кг (табл. 1). Нефтеемкость сорбентов 3,0-4,5 кг/кг можно рас-

смагивать как экономически выгодную. Процесс поглощения нефти с поверхности воды сопровождается и водопоглощением исследуемых сорбентов. При этом степень обводненности нефтешлама с увеличением температуры обжига сорбентов при низкотемпературной карбонизации в сравнении с воздушно-сухим древесным опилом сначала резко снижается (в 1,74 раза при 200 °С) и затем изменяется незначительно [2].

Каждый фактор, приведенный в таблице 1, оценивается относительно самого себя по порядку предпочтения. Процесс установления предпорядка предпочтения среди значений фактора называется ранжированием. В таблице 2 приведено ранговое распределение значений факторов [4, 5].

Таблица 2

Ранговое распределение значений факторов

Температура пиролиза древесной фракции T , °С		Степень обугливания ζ , %		Толщина нефтяной пленки h , мм		Нефтеемкость сорбента E , кг/кг		Содержание в нефтешламе, % мас.			
								воды ν_g		нефти ν_n	
0	25	0	0	6	7.13	8	2.47	0	16.94	8	59.12
1	105	0	0	5	5.83	7	2.63	1	12.97	7	63.08
2	150	1	2.18	4	4.92	6	2.85	2	10.46	6	66.29
3	200	2	3.88	3	4.69	5	3	3	9.71	5	67.72
4	250	3	6.68	7	8.85	4	3.24	4	9.46	4	69.19
5	300	4	13.9	0	2.23	3	3.7	6	9.34	3	71.37
6	350	5	16.24	2	3.87	2	4.28	5	9.42	2	73.43
7	400	6	18.43	8	9.1	1	5.13	7	9.03	1	76.13
8	600	7	24.27	1	2.46	0	6.52	8	8.38	0	79.44

Для ранжирования любой из приведенных факторов рассматривается как векторная величина, то есть такая физическая отличительная особенность, которая имеет четкое направление количественного изменения «чем больше, тем лучше».

В таблице 3 приведена корреляционная матрица, полученная после анализа бинарных отношений между всеми принятыми по исходным данным (табл. 1) переменными величинами.

Таблица 3

Корреляционная матрица факторных связей

Влияющие факторы X	Зависимые факторы Y					
	T , °С	ζ , %	h , мм	E , кг/кг	ν_g , % мас.	ν_n , % мас.
T , °С	1	0,9949	нет	0,9973	0,9837	0,9985
ζ , %	0,9759	1	нет	0,9929	0,9258	0,9738
h , мм	0,9351	нет	1	0,8261	0,9912	0,9562
E , кг/кг	0,9985	нет	нет	1	0,9998	0,9852
ν_g , % мас.	0,9876	нет	нет	0,9597	1	0,9770
ν_n , % мас.	0,9947	нет	нет	0,9997	0,9958	1

Из общего количества (36 клеток) исключили 9 значений, так как нет зависимости между толщиной нефтяной пленки и температурой пиролиза древесной фракции, толщиной нефтяной пленки и степенью обугливания, толщиной нефтя-

ной пленки и нефтеемкостью сорбента, толщиной нефтяной пленки и содержанием в нефтешламе воды и нефти. Оставшиеся 27 трендовых закономерностей были вычислены в программе CurveExpert-1.3 в виде экспоненциального закона с порогом уровня адекватности выше 0,800.

В таблице 4 приведена матрица значений коэффициента корреляции при значениях от 0,900 и более. Статистические модели имеют очень высокую достоверность. Эти модели пригодны для интерпретации технических экспериментов, а также для выработки эффективных экологических, экономических, технологических и технических мероприятий, направленных на очистку водных поверхностей углистой массой [4, 5].

Таблица 4

Корреляционная матрица с доверием не ниже 99 %

Влияющие факторы	Зависимые факторы				
	$T, ^\circ\text{C}$	$\zeta, \%$	$E, \text{кг/кг}$	$\nu_g, \%$ мас.	$\nu_n, \%$ мас.
$T, ^\circ\text{C}$	1	0,9949	0,9973		0,9985
$\zeta, \%$		1	0,9929		
$h, \text{мм}$				0,9912	
$E, \text{кг/кг}$	0,9985		1	0,9998	
$\nu_n, \%$ мас.	0,9947		0,9997	0,9958	1

Данные таблицы 1 моделировали в программной среде Curve Expert 1.38 [3]. Результаты моделирования отражены в таблице 5.

Таблица 5

Бинарные отношения между факторами

№ модели	Уравнение факторной бинарной связи	Коэф. корреляции
1	$\nu_g = 100 \exp(-0,072877E^{3,92523}) + 1,57927E^{2,12944} \exp(-0,57777E) + 6,40019$	0,9998
2	$E = 0,010586 \exp(0,080414\nu_n^{1,0003534}) + 0,012838\nu_n^{3,20044} \exp(-0,14336\nu_n^{1,0000687})$	0,9997
3	$\nu_n = 58,39057 \exp(-8,075383 \cdot 10^{-5} T^{1,73841}) + 0,0048301 T^{1,94082} \exp(-0,026451 T^{0,72368})$	0,9985
4	$T = -273 + 33,63281 E^{1,72692} + 19,42249 E^{10,86412} \exp(-3,138136 E)$	0,9985
5	$E = 1,68092 \cdot 10^{-12} T^{5,05323} \exp(-0,0010395 T^{1,28456}) + 2,62192$	0,9973
6	$\nu_g = 105,55291 \exp(-0,00033228 \nu_n^{1,99491}) - 2,53178 \cdot 10^{-38} \nu_n^{28,83422} \exp(-0,47349 \nu_n^{1,0021607})$	0,9958
7	$\zeta = 6,66565 \cdot 10^{-14} T^{12,03394} \exp(-7,27285 T^{0,27945})$	0,9949
8	$T = -960122,27 \exp(-0,15470 \nu_n) + 5,63899 \cdot 10^8 \nu_n^{-6,12562} \exp(0,15739 \nu_n^{1,0094675})$	0,9947
9	$E = 0,20076 \zeta^{0,29566} \exp(0,084713 \zeta) + 2,55078$	0,9929
10	$\nu_g = 9,33686 \exp(-0,0106306 h) + 5,55110 h^{12,54912} \exp(-0,0016241 h^{3,91346})$	0,9912

Модели 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 12 состоят из двух частей. В моделях 2, 3, 6, 8, 10, 12 первая составляющая формулы показывает, что процесс сорбции протекает по закону гибели, а вторая составляющая представляет собой биотехническое возбуж-

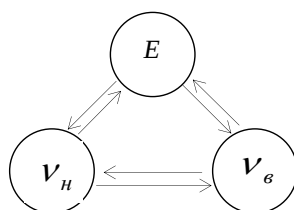
дение значений фактора. Эти двухчленные уравнения содержит два устойчивых закона распределения. Первая составляющая является законом гибели, предложенным нами [4], в котором, в отличие от закона Лапласа, вводится интенсивность гибели (степень объясняющей переменной). Вторая составляющая является экспоненциальным законом. Причем первая составляющая является частным законом.

В моделях 5, 9 и 13 первая составляющая является постоянным числом. Модель 1 имеет три составляющие. Причем все они положительно направлены, то есть увеличение нефтеемкости сорбента уменьшает содержание воды в нефтешламе.

Общая формула, кроме модели (4), для всех бинарных связей запишется в виде трехчленного уравнения:

$$y = y_1 + y_2 + y_3, \quad y_1 = a_1, \quad y_2 = a_2 x^{a_3} \exp(-a_4 x^{a_5}), \quad y_3 = a_6 x^{a_7} \exp(-a_8 x^{a_9}). \quad (1)$$

Изучив матрицу, представленную в таблице 4, и бинарные отношения между факторами, представленными в таблице 5, отбросив все значения с доверием ниже 99 %, можно оставить три факторные связи 1, 2, 6. В результате получается факторный треугольник, т.е. зависимость нефтеемкости сорбента от содержания в нефтешламе воды и нефти, и наоборот.



Комплексное изображение нефтеемкости сорбента от содержания воды и нефти в нефтешламе можно представить в трехмерном пространстве (рис. 1).

Комплексное изображение зависимости нефтеемкости сорбента от содержания воды и нефти в нефтешламе, представленное на рисунке 1, показывает взаимосвязь между факторными связями.

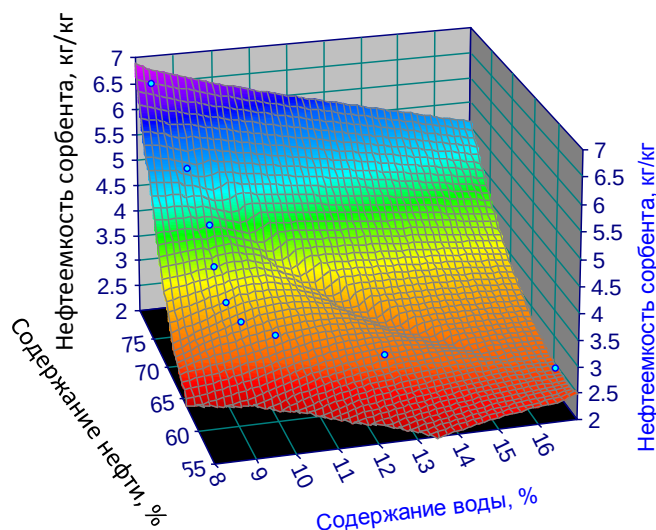


Рис. 1. Зависимость нефтеемкости сорбента от содержания воды и нефти в нефтешламе

Проведено математическое моделирование, т.е. произведена формулировка законов, связывающих основные объекты модели; установлена адекватность модели; дан анализ математической модели и осуществлена модернизация этой модели. Анализ математической модели позволяет проникнуть в сущность изучаемых явлений [4-6].

По статистическим моделям возможно дополнительное исследование добротности различных сценариев, т.е. детальное изучение зависимостей нефтеемкости сорбента от содержания воды и нефти, и наоборот.

Выводы

1. Установлено, что сорбционная способность опила повышается с увеличением температуры обжига древесных отходов.

2. Установлены математические закономерности сорбционной способности древесных отходов в зависимости от содержания в нефтешламе воды и нефти; доказано, что нефтеемкость сорбентов 3,0-4,5 кг/кг можно рассматривать как экономически выгодную.

Список литературы

1. Будницкий Г.А., Матвеев В.С., Казаков М.Е. Получение и применение древесных активированных углей // Химические волокна: науч.-техн. журн. 1993. № 5. С. 19-22.
2. Пат. 2088725 Российская Федерация МПК6 E02B015/04 C09K003/32. Способ очистки водной поверхности от нефтяного загрязнения / Хасанов И.Ю., Рогозин В.И., Танатаров М.А., Хасанов Р.Ю.; заявитель и патентообладатель Хасанов Ильмер Юсупович. № 95112899/13; заявл. 07.24.95; опубл. 08.27.97
3. Мазуркин П. М., Филонов А. С. Математическое моделирование. Идентификация однофакторных статистических закономерностей: учеб. пособие. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. 151 с.
4. Филина, Н.А., Алибеков С.Я. Факторный анализ очистки водной поверхности от нефтепродуктов углистой массы // VI международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы современных наук». Технические науки. Серия «Энергетика»: [материалы международной конференции]. Пшемьсль, Польша: Образование и наука, 2010. С. 84–87.
5. Филина Н.А., Мазуркин П.М. Нефтеемкость сорбента из углистой массы от содержания в нефтешламе воды и нефти // Успехи современного естествознания: научно-теоретический журнал / Академия естествознания. Москва, 2011. № 6. С. 34–38.
6. Совершенствование оценки экологического состояния линейных частей нефтепроводов на территориях с интенсивным карстообразованием / А.Г. Поздеев [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 2. С. 84-93.

RESEARCH SORPTION SVOYST OF WOOD WASTE

Filina Natalya Aleksandrovna

Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola

In this work there are some ways of water surface oil treatment, which can be used for water objects purification in the case of oil outflow and other kinds of supernatant oils. There were developed the mathematical models of the process of waste wood sorption in the software environment Curve Expert 1.3.

Keywords: *coaly masses, sorption, the results of modeling*

Сведения об авторах

АКБАРОВ Одил Мухитдинович – аспирант ПГТУ

АЛИЕВ Марат Туфикович – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования и производства ЭВС

АНИСИМОВ Павел Николаевич – аспирант ПГТУ

АНИСИМОВ Сергей Николаевич – аспирант ПГТУ

БАГАУТДИНОВ Ильдар Нургаязович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин

БАТУХТИН Дмитрий Михайлович – аспирант ПГТУ.

БЕЛОВ Дмитрий Александрович – студент ПГТУ.

БЛИНОВ Илья Давидович – аспирант ПГТУ

БОГАТЫРЕВ Максим Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечения предприятий

БОЛЬШАКОВА Екатерина Евгеньевна – аспирант, ассистент кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологии

БОЯРСКИЙ Михаил Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации, сертификации и товароведения

БРОДНИКОВ Сергей Николаевич – аспирант ПГТУ

БУКАНОВА Татьяна Сергеевна – ассистент кафедры проектирования и производства ЭВС

ВАЙНШТЕЙН Виктор Мейлехович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог

ВАСИЛЬЕВ Андрей Юрьевич – аспирант ПГТУ

ВАСИЛЬЕВ Денис Александрович – студент ПГТУ

ВАШУРИН Никита Сергеевич – аспирант ПГТУ

ВВЕДЕНСКИЙ Олег Германович – кандидат технических наук, доцент кафедры водных ресурсов

ВЕЮКОВ Евгений Валерианович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры автомобильные дороги

ВИНТИНА Анна Анатольевна – студентка ПГТУ

ГАЛЕЕВ Султан Хафизьянович – кандидат технических наук, профессор, зав. кафедрой эксплуатации машин и оборудования

ГАСПАРЯН Овик Ашотович – студент ПГТУ

ГИЛЁВА Юлия Александровна – магистрант ПГТУ

ГОГЕЛАШВИЛИ Гоча Шотаевич – кандидат химических наук, доцент кафедры физики

ЕРЕМИН Николай Васильевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ

ЖУРАВЛЕВ Евгений Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и прикладной механики

ЗАРНИЦЫН Андрей Юрьевич – студент ПГТУ

ЗВЕРЕВ Илья Владимирович – ассистент кафедры технологий и оборудования лесопромышленных производств

ЗИМИНА Ксения Владимировна – магистрант ПГТУ

ИВАНОВ Дмитрий Владимирович – доктор физико-математических наук, проректор по научной работе и инновационной деятельности

ИВАНОВ Владимир Алексеевич – доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики

ИВАНОВ Константин Олегович – аспирант ПГТУ

ИВАНОВ Олег Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и прикладной механики

ИВАНОВ Сергей Павлович – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой сопротивления материалов и прикладной механики

ИВАНОВА Анастасия Сергеевна – аспирант, зав. лабораторией кафедры сопротивления материалов и прикладной механики

ИЛИВАНОВ Виктор Юрьевич – аспирант ПГТУ

КАЛИНИН Константин Константинович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства

КАМЕНСКИХ Александр Дмитриевич – аспирант ПГТУ

КИРИЛЛОВ Сергей Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ

КИСЕЛЕВА Ольга Валерьевна – аспирант ПГТУ

КИСЛИЦЫН Алексей Александрович – ассистент кафедры радиотехники и связи

КОНОНОВА Ольга Витальевна – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов и технологии строительства

КОРОЛЕВ Александр Сергеевич – аспирант ПГТУ

КРАСНОВ Виталий Геннадьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, зав. кафедрой лесных культур и механизации лесохозяйственных работ.

КРЫЛОВА Анна Александровна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства

КУЗНЕЦОВА Юлия Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры водных ресурсов, докторант

ЛАВРЕНТЬЕВ Борис Федорович – кандидат технических наук, профессор кафедры проектирования и производства ЭВС

ЛАДЫЧУК Дмитрий Владимирович – кандидат химических наук, доцент кафедры физики

ЛАЗАРЕВ Алексей Игоревич – аспирант ПГТУ

ЛАСТОЧКИН Денис Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации машин и оборудования

ЛЕБЕДЕВА Эмилия Петровна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной селекции, недревесных ресурсов и биотехнологий

ЛЕЖНИН Сергей Анатольевич – кандидат сельскохозяйственных наук, инженер кафедры лесоводства

ЛЕУХИН Владимир Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры

ЛИСКОВ Сергей Эрикович – студент ПГТУ

ЛОМОНОСОВА Татьяна Ионовна – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов и технологии строительства

ЛОПАТИН Альберт Марсович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации машин и оборудования

МАГОМЕДЭМИНОВ Исрафил Искендерович – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов и технологии строительства

МАЛЯНОВА Лидия Ивановна – аспирант ПГТУ

МАМАЕВ Алексей Александрович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ, зам. директора Ботанического сада-института

МАХМУТОВ Рамиль Мухаметович – зам. министра лесного хозяйства Республики Татарстан, аспирант

МЕДЯКОВ Андрей Андреевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры энергообеспечения предприятий

МЕНЬШИКОВ Сергей Александрович – аспирант ПГТУ

МИФТАХОВ Тимур Фаридович – аспирант ПГТУ

МИХЕЕВА Надежда Николаевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики

МУРТАЗИН Рустам Шамильевич – аспирант ПГТУ

МУХОРТОВ Дмитрий Иванович – доктор сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ

НИКИТИНА Надежда Михайловна – зав. лабораторией общей и прикладной физики МарГУ

НОВОСЕЛОВ Сергей Иванович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор МарГУ

ОНУЧИН Евгений Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации машин и оборудования

ПАЧКУНОВ Дмитрий Михайлович – инженер Центра коллективного пользования

ПЕГАНОВА Евгения Викторовна – врач эндоскопического отделения Республиканской клинической больницы

ПОЗДЕЕВ Виктор Михайлович – кандидат технических наук, зав. кафедрой строительных конструкций и оснований

ПОЛЕВЩИКОВА Юлия Александровна – аспирант ПГТУ

ПОПОВ Иван Иванович – доктор физико-математических наук, профессор кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры

РАЗИНОВ Александр Сергеевич – студент ПГТУ

РЖЕПКИН Андрей Юрьевич – аспирант ПГТУ

РОМАНОВ Василий Юрьевич – старший преподаватель кафедры эксплуатации машин и оборудования

РЯБИНИН Денис Евгеньевич – ассистент кафедры эксплуатации машин и оборудования

РЯБОВА Мария Игоревна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики

РЯБОВА Наталья Владимировна – доктор физико-математических наук, профессор кафедры радиотехники и связи.

РЯЗАНОВ Владислав Степанович – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и оснований

САВИНЦЕВ Александр Валерианович – студент ПГТУ

САЛИХОВ Мухаммет Габдулхаевич – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой автомобильных дорог

САПЦИН Валерий Петрович – доктор технических наук, профессор кафедры водных ресурсов

СЕВАСТЬЯНОВ Виктор Викторович – доктор медицинских наук, профессор кафедры радиотехнических и медико-биологических систем.

СМОЛЕНЦЕВА Наталья Анатольевна – студентка ПГТУ

СОКОЛОВ Антон Леонидович – инженер «Транснефть-сервис»

СОКОЛОВА Валентина Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечения предприятий

СРЕДИН Александр Владимирович – аспирант ПГТУ

СТЕПАНОВ Сергей Александрович – лаборант кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры

СУШЕНЦОВ Николай Иванович – кандидат технических наук, зав. кафедрой конструирования и производства радиоаппаратуры.

ТОЛЧИН Александр Эдуардович – аспирант ПГТУ

ТУРЕЦКИХ Светлана Олеговна – аспирант ПГТУ

ТУРЛОВ Алексей Генрихович – кандидат технических наук, доцент кафедры водных ресурсов

ФЕДОРОВ Илья Александрович – студент ПГТУ

ФИЛИНА Наталья Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности

ХАННАНОВ Андрей Маратович – студент ПГТУ

ХИНКАНИН Александр Павлович – кандидат технических наук, зав. кафедрой проектирования зданий

ХИНКАНИН Леонид Александрович – аспирант ПГТУ

ХЛЕБНИКОВ Валерий Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой энергообеспечения предприятий

ЦВЕТКОВА Екатерина Михайловна – аспирант ПГТУ

ЧЕРНОВ Андрей Алексеевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики

ЧЕРНЫШЕВ Александр Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники и связи

ШАБАЛИНА Ирина Геннадьевна – студентка ПГТУ

ШАБДАРОВ Евгений Васильевич – студент ПГТУ

ШАЛАГИН Михаил Александрович – студент ПГТУ

ШАПКИНА Анастасия Владиславовна – студентка ПГТУ

ШЕСТАКОВ Яков Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации машин и оборудования

ШИРНИН Александр Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, докторант

ШЛЫЧКОВ Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и прикладной механики

ШОМИНА Галина Александровна – студентка ПГТУ

ШУРГИН Алексей Иванович – директор Межрегионального отраслевого ресурсного центра в области лесного хозяйства

ЯКОВЛЕВ Александр Степанович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3

ЛЕС, ЭКОЛОГИЯ, ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Большакова Е.Е., Пачкунов Д.М., Шургин А.И. Эндофитные микроорганизмы <i>Populus Tremula</i> L.	5
Гордеева Т.Х., Новоселов С.И. Микрофлора окультуренных почвенных профилей	9
Еремин Н.В., Бродников С.Н., Мамаев А.А., Мифтахов Т.Ф. Лесные культуры сосны кедровой сибирской в Среднем Поволжье: состояние и проблемы.....	14
Калинин К.К. Лесоводственная оценка рубок ухода в пирогенных молодняках	19
Кириллов С.В., Яковлев А.С., Краснов В.Г., Лебедева Э.П. Исследование особенностей роста культур дуба черешчатого, созданных с закрытой и открытой корневой системой	23
Крылова А.А. Создание учебно-полевой базы по охране лесов от пожаров для учреждений среднего профессионального образования (на примере Суводского лесхоз-техникума Кировской области)	28
Лежнин С.А., Акбаров О.М. Использование анализа главных компонент при выявлении молодняков лиственных пород на залежах	33
Полевщикова Ю.А., Меньшиков С.А. Анализ динамики растительного покрова по данным спутниковой съемки	38
Толчин А.Э., Мухортов Д.И. Исследование влияния внесения комплексных минеральных удобрений в субстрат из верхового торфа на рост сеянцев сосны обыкновенной в контейнерах.....	42

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ И МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Алиев М.Т., Белов Д.А. Оценка степени зрительного утомления операторов видеодисплейных терминалов	47
Батухтин Д.М., Пеганова Е.В., Шабалина И.Г. Формирование диагностической карты поверхности пищевода по результатам статистического анализа	52

Блинов И.Д. Особенности измерения градиента потенциала резистивной пленки	58
Буканова Т.С. Управление электроприводом на основе двухроторной электрической машины с дифференциальным управлением	63
Вашурин Н.С., Попов И.И., Сушенцов Н.И., Степанов С.А. Исследование методом фотонного эха оптических свойств структур нанометрового диапазона в тонких полупроводниковых пленках	69
Иванов В.А., Чернов А.А., Шалагин М.А. Алгоритмы дальнего управления экспериментом и анализа данных при наклонном зондировании ионосферы с использованием сетевых технологий	75
Иванов В.А., Иванов Д.В., Михеева Н.Н., Киселева О.В. К вопросу о полиномиальной фильтрации регулярной составляющей дисперсионной характеристики ионосферной декаметровой линии связи	80
Иванов В.А., Рябова Н.В., Рябова М.И., Кислицын А.А. Определение параметров частотной дисперсии по данным трансионосферного зондирования	85
Иванов В.А., Рябова М.И., Шомина Г.А. Полиномиальная аппроксимация дисперсионных характеристик ВЧ-радиоканалов коротких радиолний	89
Иванов В.А., Иванов Д.В., Чернов А.А. Способы синхронизации SDR ионозонда.....	94
Лаврентьев Б.Ф. Информационно-измерительный комплекс для мониторинга параметров окружающей среды в Ботаническом саду ПГТУ	98
Лаврентьев Б.Ф. Информационные робототехнические конструкции как средство разностороннего развития детей.....	104
Лаврентьев Б.Ф. Создание комплекса средств для повышения рентабельности пчеловодства в России.....	108
Михеева Н.Н., Киселева О.В. Алгоритм выделения при обработке регулярной и стохастической составляющих частотной дисперсии	113
Севастьянов В.В., Иванов К.О. Помехоустойчивая оцифровка электроэнцефалограмм с бумажных носителей.....	118
Ханнанов А.М. Выработка подхода к проектированию многофункциональных электроизмерительных устройств	123

Чернышев А.Ю.

Алгоритм формирования кодовых комбинаций линейных сигналов
с ограничением числа следующих подряд одинаковых символов
для цифровых систем связи 127

Шабдаров Е.В., Леухин В.Н.

Исследование влияния электроискрового воздействия на распределение
электрического потенциала на поверхности резистора.....133

ТРАНСПОРТ. ЭНЕРГЕТИКА. МАШИНОСТРОЕНИЕ

Богатырев М.Д., Романов В.Ю.

Электрическая установка для предпосевной подготовки семян 138

Боярский М.В., Никитина Н.М.

К теории изгиба консольной балки.....143

Галеев С.Х., Муртазин Р.Ш.

Исследование взаимодействия стреловидных лап рабочих органов с почвой 148

Журавлев Е.А., Багаутдинов И.Н.

Символьные вычисления в компьютерном моделировании
динамики пространственного манипулятора.....152

Иванов С.П., Иванов О.Г., Иванова А.С.

Динамическая устойчивость пластин при сжатии в двух направлениях.....158

Иванов С.П., Иванова А.С.

Расчет пластин и пластинчатых систем на устойчивость
вариационным методом В.З. Власова.....162

Лопатин А.М., Ласточкин Д.М.

Индивидуальное средство для тушения лесных пожаров.....166

Махмудов Р.М.

Повышение эффективности сортиментной технологии заготовки леса
в насаждениях с большой долей неликвидной древесины.....171

Медяков А.А., Каменских А.Д.

Аварийная и технологическая утилизация углеводородов с помощью
каталитических устройств сжигания 176

Медяков А.А., Каменских А.Д.

Совершенствование каталитических систем сжигания углеводородов.....181

Муртазин Р.Ш., Галеев С.Х.

Универсальная почвообрабатывающая машина 186

Онучин Е.М., Анисимов П.Н.

Разработка схемно-конструктивных решений элементов двигателя
внешнего сгорания с устройством для приготовления, подачи
и сжигания древесного топлива 190

Рябинин Д.Е., Шестаков Я.И.

Обоснование параметров трелемой пачки с учетом лесорастительных условий..... 196

Соколова В.Н., Соколов А.Л.

Диагностика изоляции электрооборудования с использованием параметров тока абсорбции..... 199

Соколова В.Н., Хлебников В.А.

Влияние работы бытовых электроприборов на качество электроэнергии..... 203

Шлычков С.В.

Исследование влияния акустической полости на динамику стеновых панелей..... 208

ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

Королев А.С., Шапкина А.В., Разинов А.С., Цветкова Е.М.

Изменение физико-механических свойств древесины липы (*Tilia europaea*) и осины (*Pópuslus trémula*) после термической обработки 213

Ширнин А.Ю., Зверев И.В.

Машина для комбинированной трелевки древесины на базе форвардера и анализ ее производительности..... 218

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Анисимов С.Н.

Влияние пластифицирующих добавок на сроки схватывания цемента 224

Веюков Е.В., Гилёва Ю.А.

Экономическая эффективность внедрения антигололедных щебеночно-мастичных асфальтобетонов..... 228

Винтина А.А., Лазарев А.И., Поздеев В.М., Средин А.В.

Экспериментальные исследования сборно-монолитного ригеля каркасной системы ООО «Центр МКС»..... 231

Зими́на К.В., Поздеев В.М.

Технико-экономическое обоснование применения пустотелых железобетонных колонн для сборно-монолитных каркасных систем..... 236

Кононова О.В.

Гидратация цемента в наполненных цементных пастах 241

Ломоносова Т.И.

Технология гидроизоляционных работ материалами на минеральной основе 246

Магомедэминов И.И.

Влияние плотности крупного заполнителя на морозостойкость бетона..... 251

Малянова Л.И., Салихов М.Г.

Особенности технологий производства и укладки модифицированных
асфальтобетонных смесей с отходами дробления известняков
Чувашской Республики.....254

Рязанов В.С.

Получение технических решений в патентах на полезные модели
шпунтовых стенок 259

Савинцев А.В., Васильев Д.А., Гилёва Ю.А.

Прочность сцепления льда щебеночно-мастичных асфальтобетонов
с противогололедными добавками при различных температурах
и времени намораживания.....262

Салихов М.Г., Иливанов В.Ю.

Особенности технологий производства и укладки модифицированного
щебеночно-мастичного асфальтобетона с отходами дробления
известняков в покрытие лесовозных автомобильных дорог 266

Салихов М.Г., Васильев А.Ю.

Оценка эффективности полимерной добавки Nicoflok-K в составе смеси
из отсевов дробления каменных материалов, обработанных цементом.....271

Смоленцева Н.А., Вайнштейн В.М.

Особенности влияния добавок на технические свойства вязких битумов,
применяемых в асфальтобетонных покрытиях в условиях Республики Марий Эл ...276

Федоров И.А., Гилёва Ю.А., Гаспарян О.А.

Гидрофобизация покрытий дорог как способ борьбы с зимней скользкостью.....280

Хинканин Л.А., Хинканин А.П.

Энергоэффективность зданий в летний период эксплуатации 283

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ. ИНЖЕНЕРИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Введенский О.Г., Зарницын А.Ю.

Использование гидравлических струй в конструкциях
лестничных рыбоходов 289

Введенский О.Г., Лисков С.Э.

Обеспечение покатных миграций на зарегулированных реках 295

Гогелашвили Г.Ш., Ладычук Д.В.

Влияние структурных характеристик микропористых активных углей
на физико-химические свойства сорбированной воды.....301

Кузнецова Ю.А.

Моделирование струйного размыва донного грунта 306

Ржепкин А.Ю.

Анализ средств малой гидроэнергетики на основе морфологического
подхода..... 311

Сапцин В.П., Турецких С.О.

Пути повышения грузооборота лесо-судопропускных сооружений 316

Турлов А.Г.

Оценка возможности аккумулирования солнечной энергии
в рыбоводной установке замкнутого водоснабжения 321

Филина Н.А.

Исследование сорбционных свойств в древесных отходах 326

Сведения об авторах 331

Научное издание

ТРУДЫ Поволжского государственного технологического университета



ВЫПУСК 2

Серия Технологическая

Ответственные за выпуск

Е. С. Шарапов, Л. А. Смирнова

Редакторы

Л. С. Емельянова, П. Г. Павловская

Компьютерная верстка

С. Н. Эштыкова

Дизайн обложки

Н. В. Лебедь

Переводы на английский язык предоставлены
авторами статей

Подписано в печать 20.08.2014. Формат 60×84 ¹/₈. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 20,0. Тираж 500 экз. Заказ №

Поволжский государственный технологический университет
424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано в типографии ООО «Вертикаль»
424030 Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, ул. Мира, 21

ПРИГЛАШАЕМ К СОТРУДНИЧЕСТВУ

ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет» приглашает Вас опубликовать свои статьи в сборнике «Труды ПГТУ». Сборнику присвоены Международный стандартный номер сериального издания (ISSN), Международный стандартный книжный номер (ISBN). Все выпуски оперативно отражаются на сайте научной электронной библиотеки (НЭБ). Сборник включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Публикуем результаты оригинальных авторских исследований (ранее нигде не печатавшихся и не переданных в другие редакции) по следующим направлениям:

- серия Технологическая (физико-математические науки; радиотехнические инфокоммуникационные и медико-биологические системы; лес, экология, природопользование; транспорт, энергетика, машиностроение; технологии и оборудование лесопромышленных и деревообрабатывающих производств; строительство и архитектура; биологические и естественные науки, инженерия окружающей среды);
- серия Социально-экономическая (экономика, управление и право, философия, культурология, педагогика, психология, история, социология, политология и др.).

Требования к оригиналам предоставляемых работ

Основные требования к содержанию статей: актуальность, научная новизна, практическая значимость.

Структура научной статьи:

- Ф.И.О. авторов, с указанием места работы.
- Заголовок (наименование публикации).
- Аннотация (3-4 предложения, 50-100 слов).
- Ключевые слова или словосочетания (5-10 слов).

Желательно наличие в статье следующих рубрик:

- Введение (оценка состояния вопроса, основанная на обзоре литературы с мотивацией актуальности; выявленное противоречие, позволяющее сформулировать проблемную ситуацию).
- Цель работы, направленная на преодоление проблемной ситуации.
- Решаемые задачи, способствующие достижению цели.
- Математическое, аналитическое или иное моделирование.
- Техника эксперимента и методика обработки или изложение иных полученных результатов.
- Интерпретация результатов или их анализ.
- Выводы, отражающие новизну полученных результатов, показывающие, что цель, поставленная в работе, достигнута.
- Список используемой литературы.
- Сведения об авторах, название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке (авторы должны обеспечить аутентичный перевод).

Требования к оформлению статьи:

Статья должна быть представлена в электронном варианте и распечатанном виде.

- ✓ Объем статьи – 5 страниц формата А4 (до конца заполненных);
- ✓ основной шрифт – 12 пт Times New Roman; межстрочный интервал – одинарный;
- ✓ поля: внутри – 2 см, верхнее, нижнее, снаружи – 3 см;
- ✓ отступы в начале абзаца – 0,75 см;

- ✓ УДК оформляется в левом углу листа, светлым шрифтом, без отступа;
- ✓ нумерация страниц – внизу по центру, 12 пт;
- ✓ **НАЗВАНИЕ** статьи печатается по центру, прописными буквами, полужирным прямым шрифтом (Times New Roman, 12 пт);
- ✓ **Фамилия, Имя и Отчество авторов** (полностью) должны быть напечатаны по центру жирным курсивом, 12 пт;
- ✓ место работы, страна, город – шрифт 10 пт светлый прямой;
- ✓ электронный адрес одного из авторов – шрифт 10 пт;
- ✓ аннотация и ключевые слова – шрифт 11 пт, светлый курсив;
- ✓ основной текст статьи – с отступом в один интервал после аннотации. Выравнивание текста – по ширине; переносы ставятся автоматически. Выделения в тексте выполняются светлым курсивом;
- ✓ **заголовки рубрик** выделяются полужирным шрифтом;
- ✓ таблицы, рисунки, графики (печатаются только в черно-белом исполнении, цветные иллюстрации доступны лишь в электронной версии сборника) должны иметь нумерационный и тематический заголовки (размер шрифта 10 пт, заголовки **полужирным**, по центру); таблицы и рисунки следует по возможности вставлять в текст после абзацев, содержащих ссылку на них; размеры иллюстраций не должны превышать размеров текстового поля (не более 15 см);
- ✓ после списка литературы – сведения об авторах, название статьи, аннотация и ключевые слова – на *английском языке*, шрифт 10 пт;
- ✓ *список литературы*: заголовок – строчными курсивом шрифт 11 пт, список – прямым, шрифт 11 пт;
- ✓ ссылки на литературу в тексте даются в квадратных скобках, литература оформляется согласно ГОСТ Р 7.05-2008; количество источников – не более 10; обязательны ссылки на работы, опубликованные в последние 5-10 лет; необходимо использовать ссылки на «Вестник ПГТУ» (самоцитируемость при этом должна быть минимальной); ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Статьи проходят редакционно-издательскую обработку. При необходимости принципиальных изменений правка согласовывается с автором.

Надеемся на взаимноинтересное сотрудничество.

*Отдел научных публикаций и интеллектуальной собственности
Поволжского государственного технологического университета*

*424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина 3, ПГТУ, Отдел НПиИС, ауд. 423а, т. 68-60-09,
e-mail: patent@volgatech.net*