

ISSN 2313-4372

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ВЫПУСК 5

Т Р У Д Ы

Поволжского государственного технологического университета

Серия Технологическая



Йошкар-Ола
2017

УДК 62
ББК 3
Т 78

Ответственный и научный редактор сборника

проректор ПГТУ по научной работе, член-корреспондент Российской академии наук, профессор, доктор физико-математических наук *Иванов Д. В.*

Редакционная коллегия серии:

Алибеков С.Я., доктор технических наук, профессор
Грунин Ю. Б., доктор химических наук, профессор
Иванов В. А., доктор физико-математических наук, профессор
Минаков Ю.М., доктор технических наук, профессор
Роженцов А. А., доктор технических наук, профессор
Романов Е. М., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Рябова Н. В., доктор физико-математических наук, профессор
Сидоркина И. Г., доктор технических наук, профессор

Труды Поволжского государственного техно-
Т 78 **логического университета.** Серия: Технологическая.
Вып. 5 [Текст] / отв. и науч. ред. Д. В. Иванов. – Йош-
кар-Ола: Поволжский государственный технологиче-
ский университет, 2017. – 248 с.

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

УДК 62
ББК 3

ISSN 2313-4372

© Поволжский государственный
технологический университет, 2017

ПРЕДИСЛОВИЕ



Сильная вузовская наука, активная исследовательская работа и эффективная коммерциализация результатов интеллектуальной деятельности служат важнейшим средством закрепления и развития вуза в условиях сильной конкуренции. При этом инновационная составляющая деятельности вуза является основным приоритетом, и работа в этом направлении идет полным ходом.

Поволжский государственный технологический университет регулярно занимает лидирующие позиции в регионе в области создания объектов промышленной собственности. Только за последний пятилетний период университетом получено более 450 патентов и свидетельств РФ, что составляет порядка 60 % от общих республиканских данных. Многие идеи и разработки представителей Волгатеха имеют реальную коммерческую привлекательность.

Остается высокой активность участия студентов, аспирантов и ученых вуза в программах Фонда развития инноваций. В 2016 году в конкурсе грантов по программе «УМНИК» участвовали 122 заявки, 9 проектов признаны победителями. По количеству проектов, финансируемых в рамках молодежного научно-инновационного конкурса УМНИК Фонда развития инноваций (в 2016 году их 237), ПГТУ – в десятке лучших вузов России. На сегодняшний день согласно Федеральному закону Российской Федерации от 02.08.2009 № 217-ФЗ в целях практического применения результатов интеллектуальной деятельности функционируют 25 малых инновационных предприятий, созданных с участием университета.

По итогам 2016 года ведущие малые инновационные предприятия ООО «Мехатронные системы» и ООО «НПЦ «Поиск-МарГТУ» имеют суммарный годовой оборот более 20 млн рублей. Совместное предприятие «Поиск-МарГТУ» является победителем конкурса Фонда развития инноваций по программе «Развитие», согласно которой в 2016 году 12 млн рублей были направлены на финансовое обеспечение выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ в рамках реализации проекта по разработке и изготовлению вакуумного технологического оборудования и исследованию вакуумных технологий получения покрытий.

Ключевую роль в развитии вуза и повышении объемов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, выполняемых по заказам предприятий реального сектора экономики региона, играют ведущие научно-технологические центры: Центр радиолокационных систем и комплексов, Центр устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов, Центр автоматизированного машиностроения, Лаборатория «Новая техника», Испытательная лаборатория мебели и изделий из древесины, Лаборатория строительно-технических экспертиз, Центр коллективного пользования, Центр развития инновационных технологий в строительстве, Студенческое конструкторское бюро, Центр консалтинга в области менеджмента и маркетинга, Центр инжи-

ниринга и промышленного дизайна «Биоэнергия», Центр экспертизы и управления недвижимостью. Общий объем их НИОКР за 2016 год превысил 40 млн рублей.

Продолжается плодотворное сотрудничество Волгатеха с ведущими отечественными и зарубежными выставочными площадками. Здесь прежде всего следует назвать Международный фестиваль инноваций, знаний и изобретательства «Тесла Фест» (Сербия), Международный салон изобретений «INNOVA» (Хорватия), Московский Международный салон изобретений и инновационных технологий «Архимед».

Важным успехом является победа совместного проекта Волгатеха в рамках конкурса по отбору организаций на получение субсидий на реализацию комплексных проектов по созданию высокотехнологичного производства (Постановление Правительства РФ № 218). Проект направлен на получение значимых научно-технических результатов, закладывающих основу разработки и серийного производства адаптивного роботизированного реабилитационного комплекса на основе носимых экзоскелетных систем. Создание высокоэффективных реабилитационно-восстановительных технологий на базе экзоскелетов, позволяющих вернуть пациентов с неврологическими патологиями к трудовой деятельности, является актуальной государственной задачей, важность решения которой неуклонно растет. Внешние участники проекта – АО «Волжский электромеханический завод» (г. Волжск), ННГУ им. Н. И. Лобачевского и Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН.

Своеобразной визитной карточкой ПГТУ традиционно является ежегодный сборник научных статей «Труды Поволжского государственного технологического университета». Здесь отражены основные научные достижения ученых и преподавателей вуза, представленные на научной конференции «Исследования. Технологии. Инновации».

В предлагаемом вниманию читателя пятом выпуске «Трудов Поволжского государственного технологического университета», посвященном 85-летию ПГТУ, изложены результаты научно-исследовательской деятельности профессорско-преподавательского состава, докторантов, аспирантов и сотрудников вуза за 2016 год.

Сборник традиционно состоит из двух серий: технологической и социально-экономической. Данная серия сборника – Технологическая. В ней представлены статьи по следующим направлениям научных исследований:

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

Д. В. Иванов,
*проректор ПГТУ по научной работе,
член-корреспондент Российской академии наук,
доктор физико-математических наук,
ответственный и научный редактор сборника*

ЛЕС. ЭКОЛОГИЯ. ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.532.2

ВЕГЕТАТИВНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ СОРТОВ ТЮЛЬПАНА ГИБРИДНОГО

Бирюкова Ольга Александровна

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
BiryukovaOA@volgatech.net

Определена вегетативная продуктивность 19 сортов тюльпана гибридного, выращиваемого в условиях Ботанического сада-института Поволжского государственного технологического университета по размерным фракциям. Изученные сорта разделены на группы с высоким и низким коэффициентом размножения.

Ключевые слова: тюльпан, Tulipa, коэффициент размножения, диаметр луковицы.

Введение. Среди декоративных многолетников луковичные культуры занимают одно из ведущих мест и с каждым годом приобретают все большую популярность [1]. Тюльпаны используют в оформлении цветников, а также выращивают для цветочной срезки, выгонки или специально для получения луковиц. К осени будущего года материнская луковица отмирает, на ее месте образуется гнездо дочерних луковиц. Оно состоит из разных по размеру и качеству луковиц. По диаметру луковицы делятся на пять разборов: экстра – более 4 см; I – 3,5-3,9 см; II – 3-3,4 см; III – 2,5-2,9 см; IV – 1,5-2,4 см; V – менее 1,5 см. Крупные луковицы (экстра, I и II разбора) используют для посадки в садах и парках, для выгонки и срезки, а мелкие (III, IV и V разбора) – для дорастивания в течение нескольких сезонов [2].

Коэффициент размножения одного и того же сорта при разных условиях выращивания различается по годам. Одной из причин является разнокачественность луковиц разных разборов. Коэффициент размножения отражает интенсивность вегетативного размножения тюльпанов. Он зависит от сорта, условий выращивания и величины материнской луковицы: чем она крупнее, тем больше в ней запасов чешуй и, следовательно, больше коэффициент размножения. В условиях средней полосы он составляет от 1,9 до 3,1 [3]. Большим коэффициентом размножения обладают сорта со средним и поздним сроками цветения. Объясняется это более длительным периодом их вегетации, в течение которого в луковицах накапливается больше запасных питательных веществ.

В коллекции Ботанического сада-института ПГТУ выращивается 165 сортов тюльпана, принадлежащих к 14 классам [4].

Цель исследования – определение вегетативной продуктивности сортов Тюльпана гибридного.

В качестве объектов были взяты тюльпаны 8 классов: Простые ранние ('Pink Trophy'), Триумф ('Datch Princess', 'Miss Elegance', 'White Dream', 'Avenue'), Дарвиновы гибриды ('Amsterdam', 'Eric Hofsjo', 'Ad Rem', 'Banja Luka', 'Gudoshnik', 'Dover', 'General Eisenhower'), Простые поздние ('Greuze'), Лилецветные ('Claudia'), Бахромчатые ('Friged Golden Apeldoorn'), Зеленоцветные ('Groenland', 'Nightrider'), Попугайные ('Reinbow Parrot').

Методики. Для изучения интенсивности размножения луковицы выкапывали в июне после пожелтения листьев. Период возделывания луковиц на одном месте составил один год. В ходе работы учитывали такие морфометрические параметры луковицы, как ее диаметр, а также подсчитывали количество луковиц в одном гнезде. Калибровка луковиц на фракции проводилась согласно действующим стандартам (ГОСТ 28849-90 «Луковицы и клубнелуковицы цветочных культур. Технические условия»). Коэффициент размножения определяли отношением числа дочерних луковиц к числу выкопанных гнезд. Полевые материалы обработаны методами описательной статистики с использованием прикладной программы Microsoft Excel на 95-процентном уровне надежности.

Изложение результатов. Морфометрические показатели луковиц представлены в таблице 1.

Таблица 1

Среднее значение диаметра и количества луковиц в гнезде сортов тюльпана гибридного

Группы	Класс	Название сорта	Средние значения	
			диаметра луковицы, см	количества луковиц в гнезде, шт.
Рано-цветущие	Простые ранние	'Pink Trophy'	1,8±0,08	2,7±0,26
		'Calgary Flames'	2,6±0,29	2,6±0,81
Средне-цветущие	Триумф	'Datch Princess'	2,6±0,11	3,3±0,37
		'Miss Elegance'	1,9±0,18	2,7±0,21
		'White Dream'	2,5±0,13	3,6±0,31
		'Avenue'	2,5±0,20	2,6±0,22
	Дарвиновы гибриды	'Amsterdam'	2,5±0,31	3,0±0,32
		'Eric Hofsjo'	3,0±0,20	3,4±0,18
		'Ad Rem'	2,5±0,19	3,2±0,39
		'Banja Luka'	3,3±0,25	3,4±0,51
		'Gudoshnik'	3,3±0,15	4,0±0,30
		'Dover'	2,8±0,18	3,9±0,31
		'General Eisenhower'	4,0±0,57	3,7±0,37
Поздно-цветущие	Простые поздние	'Greuze'	2,0±0,17	2,7±0,33
	Лилецветные	'Claudia'	2,5±0,18	2,8±0,25
	Бахромчатые	'Friged Golden Apeldoorn'	3,0±0,15	2,9±0,18
	Зеленоцветные	'Groenland'	2,3±0,15	3,5±0,37
		'Nightrider'	2,4±0,21	2,5±0,31
	Попугайные	'Reinbow Parrot'	2,4±0,11	3,6±0,34
Среднее			2,6±0,12	3,2±0,11

Можно видеть, что значения среднего диаметра луковицы находились в диапазоне от 1,8±0,08 до 4,0±0,57 см. Самые крупные луковицы сформировались у сортов класса Дарвиновы гибриды: 'General Eisenhower' (4,0±0,57 см), 'Banja Luka' (3,3±0,25 см) и 'Gudoshnik' (3,3±0,15 см); самые мелкие луковицы у сортов 'Pink Trophy' (1,8±0,08 см) и 'Miss Elegance' (1,9±0,18 см) из классов Простые ранние и Триумф.

Количество луковиц в гнезде у изученных сортов тюльпана в среднем составило $3,2 \pm 0,11$ шт. Самым продуктивным оказался сорт 'Gudoshnik'. К группе сортов с высоким коэффициентом размножения наряду с названным сортом отнесены большинство сортов класса Дарвиновы гибриды (за исключением 'Amsterdam'), сорта 'Datch Princess' и 'White Dream' класса Триумф, а также 'Groenland' класса Зеленоцветные и 'Reinbow Parrot' класса Попугайные. В группу сортов с низким коэффициентом размножения включены остальные изученные сорта.

Вегетативная продуктивность сортов тюльпана по размерным фракциям представлена в таблице 2.

Таблица 2

Вегетативная продуктивность по размерным фракциям тюльпана гибридного

Класс	Название сорта	Луковицы по разборам, %						Выход товарных луковиц, %
		Э 4 см	I 3,5-3,9 см	II 3,0-3,4 см	III 2,5-2,9 см	Д1 1,5-2,4 см	Д2 менее 1,5 см	
Простые ранние	'Pink Trophy'	0	0	0	11,1	48,2	40,7	0
	'Calgary Flames'	15,4	7,7	7,7	15,4	30,8	23,0	30,8
Триумф	'Datch Princess'	0	9,1	18,2	15,2	57,5	0	27,3
	'Miss Elegance'	3,7	0	7,4	22,2	25,9	40,8	11,1
	'White Dream'	2,8	8,3	11,1	27,8	38,9	11,1	22,2
	'Avenue'	7,7	15,4	7,7	19,2	23,1	26,9	30,8
Дарвиновы гибриды	'Amsterdam'	14,3	0	14,3	28,6	14,3	28,5	28,6
	'Eric Hofsjo'	22,3	14,8	14,8	11,1	25,9	11,1	51,9
	'Ad Rem'	21,9	0	12,5	15,6	28,1	21,9	34,4
	'Banja Luka'	35,3	11,8	5,9	17,6	29,4	0	53,0
	'Gudoshnik'	27,5	20,0	12,5	17,5	17,5	5,0	60,0
	'Dover'	17,9	7,8	20,5	12,8	23,1	17,9	46,2
	'General Eisenhower'	40,5	18,9	8,2	5,4	27,0	0	67,6
Простые поздние	'Greuze'	0	0	18,5	18,5	25,9	37,1	18,5
Лилецветные	'Claudia'	7,1	3,6	17,9	14,3	39,3	17,8	28,6
Бахромчатые	'Friged Golden Apeldoorn'	0	37,9	24,2	10,3	24,2	3,4	62,1
Зеленоцветные	'Groenland'	2,9	8,6	5,7	14,3	54,2	14,3	17,2
	'Nightrider'	8,0	4,0	20,0	20,0	16,0	32,0	32,0
Попугайные	'Reinbow Parrot'	0	2,8	16,7	25,0	44,4	11,1	19,5

Согласно данным таблицы 2, сорта 'Gudoshnik', 'Banja Luka', 'General Eisenhower' класса Дарвиновы гибриды образовали наибольшее количество луковиц разбора экстр (27,5–40,5 %). У таких сортов, как 'Pink Trophy', 'Greuze', 'Datch Princess', 'Friged Golden Apeldoorn', 'Reinbow Parrot' луковицы экстр не сформировались совсем. Наибольшее количество луковиц I и II разбора (24,2–37,9 %) сформировалось у сорта 'Friged Golden Apeldoorn'.

Луковицы экстр, I и II разбора считаются товарными. Высокий процент товарных луковиц имели сорта 'General Eisenhower' (67,6 %), 'Friged Golden Apeldoorn' (62,1 %), 'Gudoshnik' (60,0 %), 'Banja Luka' (53,0 %), 'Eric Hofsjo' (51,9 %). У остальных сортов товарные луковицы составили менее 50 % от их общего количества в гнезде. Сорт 'Pink Trophy' не образовал товарных луковиц.

Коэффициент корреляции (r) между средним диаметром луковицы и выходом товарных луковиц составил 0,94, между средним диаметром и коэффициентом размно-

жения – 0,56, между коэффициентом размножения и выходом товарных луковиц – 0,46. То есть, между изученными показателями выявлена положительная прямая связь разной силы.

Выводы. Таким образом, определена вегетативная продуктивность 19 сортов тюльпана гибридного, выращиваемого в условиях Ботанического сада-института Поволжского государственного технологического университета. Изученные сорта разделены на группы с высоким и низким коэффициентом размножения. Самым продуктивным оказался сорт 'Gudoshnik'. Высокий процент товарных луковиц формировали сорта Бахромчатых и Дарвиновых гибридов.

Список литературы

1. Былов В. Н., Зайцева Е. Н. Выгонка цветочных луковичных растений. М.: Наука, 1990. 240 с.
2. Зайцева-Тушнова Е.Н. Тюльпаны. М.: ЗАО «Фитон+», 2002. 208 с.
3. Зайцева Е.Н. Тюльпаны. М.: Сельхозлитература, 1958. 87 с.
4. Ботанический сад-институт ПГТУ: история, коллекции, исследования / С. М. Лазарева, С. В. Мухаметова, Л. В. Сухарева и др. Йошкар-Ола: Стринг, 2014. 108 с.

VEGETATIVE PRODUCTIVITY OF TULIPA HYBRIDA VARIETIES

Biryukova Olga Aleksandrovna

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The vegetative productivity of 19 Tulipa hybrida varieties according to size fractions in the conditions of VSUT Botanical garden-institute is defined. The studied varieties are divided into groups with high and low multiplication factor.

Keywords: Tulipa, multiplication factor, bulb diameter.

УДК 470.41

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И УПОРЯДОЧЕНИЕ РАБОТЫ В ОБЛАСТИ СОХРАНЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Букатина Екатерина Геннадьевна, Хабиров Нияз Габдулясирович

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
BukatinaEG@volgatech.net, Niyaz.Habirov@tatar.ru

В статье проанализированы данные Министерства лесного хозяйства Республики Татарстан по систематизации и упорядочению деятельности в области сохранения биоразнообразия республики.

Ключевые слова: биологическое разнообразие, Красная книга Республики Татарстан.

Введение. В современных условиях единственным путем систематизации и упорядочения всей работы в области сохранения редких и исчезающих видов растений и животных с точки зрения природоохранной практики является ведение списка редких и исчезающих видов растений, животных и грибов, занесённых в Красные книги.

Цель работы: рассмотреть в динамике систематизацию и упорядочение работы в области сохранения биоразнообразия Республики Татарстан.

Решаемые задачи: исследовать особенности мониторинга по сохранению биоразнообразия Республики Татарстан.

Теоретическую и методическую основу работы составили труды ведущих отечественных ученых по данной проблеме.

Под биоразнообразием понимается совокупность видов (популяций) животных, растений, грибов, микроорганизмов, обитающих на той или иной территории. К сожалению, на естественные природные ландшафты оказывается антропогенное воздействие в больших масштабах, при этом мы видим загрязнение окружающей природной среды, изменение в целом природных территорий. На глобальном уровне снижаются возможности естественных территорий как мест обитания живых организмов, приводя к обострению взаимоотношений человека и объектов биоразнообразия.

Актуальность исследования

Законом (№ 7-ФЗ от 10.01.2002. «Об охране окружающей среды» ст. 60, п. 1) устанавливается, что «В целях охраны и учёта, редких и находящихся под угрозой исчезновения растений, животных и других организмов учреждаются Красная книга РФ и Красные книги субъектов РФ. Растения, животные и др. организмы, относящиеся к видам, занесённым в Красные книги, повсеместно подлежат изъятию из хозяйственного использования». Таким образом, признано, что инвентаризация угрожаемых видов фауны и флоры и учёт последних является важной задачей уполномоченных органов исполнительной власти Федерального центра и регионов.

Наибольшую озабоченность вызывает неравномерная изученность состояния редких и исчезающих животных, растений и грибов на территориях муниципальных районов Республики Татарстан. Сравнительно небольшая часть муниципальных районов изучена достаточно полно. В связи с этим настоятельно необходимо проводить порайонные инвентаризации редких и исчезающих представителей фауны и флоры. Выполненная работа будет способствовать более тщательному и взвешенному подходу к подготовке третьего издания Красной книги РТ, даст новую информацию о районах, подходящих для выделения под особо охраняемые природные территории.

В соответствии с п. 2.4 Положения о ведении Красной книги РТ, утвержденного постановлением Кабинета Министров РТ от 20.08.1996 № 714, в 2016 году издана третья редакция Красной книги Республики Татарстан. В новое издание включено 614 редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, растений и грибов, обитающих (произрастающих) на территории Татарстана, из которых 70 видов занесены в Красную книгу РФ.

На сегодняшний день список редких и исчезающих видов, занесенных в Красную книгу РТ, включает 224 вида животных (млекопитающих – 33, птиц – 66, рептилий – 4, амфибий – 3, рыб – 11, беспозвоночных – 107 видов), 317 видов растений (цветковые – 253, голосеменные – 1, папоротниковидные – 11, хвощевидные – 1, плауновидные – 6, мохообразные – 34, водоросли – 11 видов) и 73 вида грибов (лишайники – 24, грибы – 49 видов).

Распределение количества видов, занесенных в Красную книгу Республики Татарстан, по категории редкости по состоянию на 01.02.2017 г. представлено на рисунке 1.

Система категорий редкости видов следующая:

- категория 0 – вероятно, исчезнувший вид;
- категория 1 – вид, находящийся под угрозой исчезновения;
- категория 2 – сокращающий численность вид;
- категория 3 – редкий вид;
- категория 4 – неопределенный по статусу вид;
- категория 5 – вид восстановленный или восстановившийся.



Рисунок 1 – Распределение количества видов, занесенных в Красную книгу РТ, по категории редкости

На основании 10-летнего мониторинга этих видов обновлены сведения о состоянии их популяций, распространении и факторах, лимитирующих численность.

В связи с уменьшением численности за 10-летний период в Красную книгу было включено 70 новых видов животных, растений и грибов. Также в Красную книгу вошло более 10 видов, впервые обнаруженных на территории республики. В то же время в связи со стабилизацией либо ростом численности, обнаружением новых популяций из Красной книги выведено около 140 видов животных, растений и грибов.

Динамика количества видов, занесенных в Красную книгу Республики Татарстан, за период с 2010 г. по 2016 г. представлена на рисунке 2.

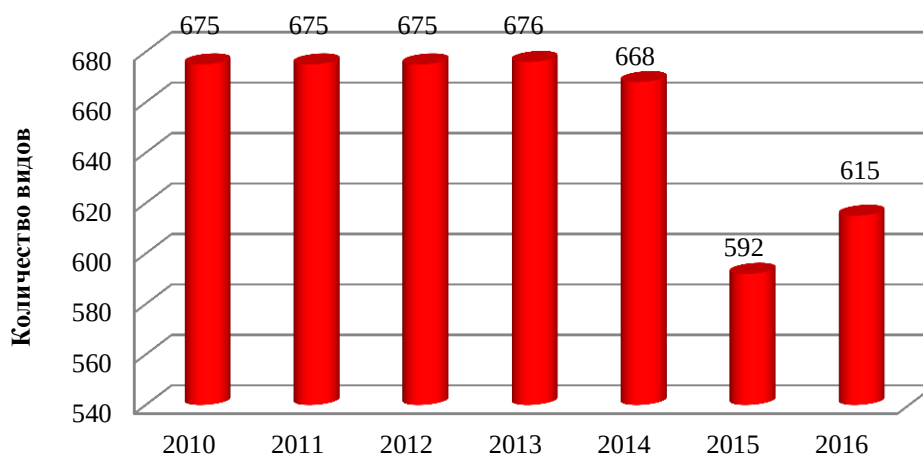


Рисунок 2 – Динамика количества видов, занесенных в Красную книгу РТ

В 2016 г. в рамках исполнения договора между Министерством лесного хозяйства РТ и Елабужским институтом (филиалом) ФГА ОУ ВО КФУ проведены научно-исследовательские работы по мониторингу гнездования орлана-белохвоста *Haliaeetus albicilla* на территории Татарстана. Данный вид хищных птиц занесен в Красные книги РФ и РТ. Кроме того, орлан-белохвост является биоиндикатором окружающей среды. Состояние этого вида напрямую отражает экологическую обстановку в регионе. Низкий успех размножения может быть вызван химическим загрязнением окружающей среды, снижением кормовой базы и другими факторами. На численность гнездящихся пар напрямую влияет наступление человека на коренные места обитания данного вида, сокращение лесных площадей вблизи рек и водохранилищ, вырубка круп-

ных деревьев, беспокойство со стороны человека в местах гнездования орлана-белохвоста.

Методика и ход исследования

Данная работа была направлена на изучение численности и пространственного распределения этого вида хищных птиц, его экологии и биологии. Непрерывно собирались сведения о местах гнездования орлана-белохвоста, необходимые для обеспечения охраны и проведения дальнейшего мониторинга, сведения о факторах, влияющих на жизнь и гнездование вида.

Работы проводились на территории 14 муниципальных районов: Зеленодольский, Верхнеуслонский, Алексеевский, Тукаевский, Агрызский, Нижнекамский, Мензелинский, Чистопольский, Спасский, Лаишевский, Рыбно-Слободский, Мамадышский, Тетюшский, Камско-Устьинский, в том числе на 6 ООПТ регионального значения: ГПКЗ «Спасский», ГПКЗ «Чистые луга», ГПКЗ «Свияжский», ГПКЗ «Гора Лобач», ГПКЗ «Долгая поляна», ПП «Щучьи горы» и 2 ООПТ федерального значения: Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник, национальный парк «Нижняя Кама», а также на территории лесничеств: ГКУ «Болгарское лесничество», ГКУ «Лаишевское лесничество», ГКУ «Приволжское лесничество», ГКУ «Тетюшское лесничество».

С 2012 г. на территории Республики Татарстан проводится мечение орлана-белохвоста цветными кольцами. Данные исследования направлены на выявление миграционных путей птиц, мест зимовок, факторов, влияющих на продолжительность жизни птиц и в целом на состояние популяции этого вида. Первые результаты возвратов колец и встреч окольцованных птиц показали, что миграционные пути орланов с территории РТ имеют преимущественное юго-западное направление. Самые дальние возвраты получены с территории Украины. Выявлены самые близкие места зимовок к территории Татарстана, расположенные в Ульяновской области. Кольцеванием также подтверждено, что часть птиц зимует в местах своего рождения, т.е. на территории РТ.

Всего в гнездовой период проверен 91 гнездовой участок орлана-белохвоста. На ранее не обследованных территориях выявлено 9 гнездовых участков. Общее количество выявленных гнездовых участков орлана-белохвоста на территории РТ по состоянию на 1 декабря 2016 г. составило 167 участков. Мониторинг предыдущих лет выявил, что гнездование отдельных пар проходит не регулярно. Успешное размножение ежегодно происходит на менее чем 50 % гнёзд. Нередко случаются срывы размножения, причины которых до конца не установлены. В 2016 году успешное размножение состоялось на 41 гнезде. Всего на гнёздах успешно вывелось более 80 птенцов.

В 2016 г. завершился 5-летний непрерывный цикл мониторинга орлана-белохвоста в республике. Из 5-ти лет этот год стал наиболее успешным для данного вида. Для примера можно привести данные мониторинга гнездования орлана-белохвоста за период с 2012 г. по 2016 г. (см. таблицу).

Данные мониторинга гнездования орлана-белохвоста [1]

Годы	Проверено гнездовых участков	Участки с гнёздами	Занятые участки	Активные участки, где начиналось размножение	Участки с успешным завершением размножения	
					Кол-во	% от всех
2012	39	35	31	25	16	45,71
2013	56	56	54	34	27	48,21
2014	73	73	63	42	31	42,46
2015	79	79	66	48	31	39,24
2016	82	81	70	61	41	50,62

В 2016 г. в рамках подготовки 3-я издания Красной книги РТ были продолжены работы по уточнению и корректировке списка редких видов. На заседаниях постоянно действующей Комиссии по редким и находящимся под угрозой исчезновения видам животных, растений и грибов, занесенных в Красную книгу РТ, был принят ряд решений:

- вывести из Красной книги Республики Татарстан 1 вид мохообразных и перевести его в Приложение Красной книги РТ; 3 вида грибов, из них 1 вид перевести в Приложение Красной книги РТ; 1 вид птиц;
- включить в Красную книгу РТ 2 вида покрытосеменных растений, 1 вид грибов;
- изменить категории редкости 68 видов покрытосеменных растений;
- изменить категории редкости 1 вида хвощевидных и 5 видов мохообразных;
- изменить категории редкости 7 видов грибов.

Вывод. Таким образом, биоразнообразие является важной и неотъемлемой частью жизнедеятельности общества. Нельзя отрицать, что сохранение биоразнообразия имеет также и социально-экономическую ценность в современной России.

Список литературы

1. Официальный сайт Министерства лесного хозяйства Республики Татарстан [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://minleshoz.tatarstan.ru/> (дата обращения 01.03.2017).

DYNAMICS OF SYSTEMATIZATION AND STREAMLINING IN THE AREA BIODIVERSITY CONSERVATION OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN BUCATINA

Bucatina Ekaterina Gennadyevna, Khabirov Niaz Abdulazizovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The article analyzes data from the Ministry of forestry of the RT for the systematization and streamlining of biodiversity of the Republic.

Keywords: biodiversity, Red data book of the Republic of Tatarstan.

УДК 630*18:582.475

ПЛОТНОСТЬ СЛОЖЕНИЯ ПОЧВ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

***Демаков Юрий Петрович^{1,2}, Нуреев Наиль Биаллович¹,
Исаев Александр Викторович²***

¹ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

²Государственный природный заповедник «Большая Кокшага», г. Йошкар-Ола
NureevNB@volgatech.net

Оценены пределы и установлены закономерности изменчивости плотности сложения почв в лесных биогеоценозах Среднего Поволжья. Показано, что основным фактором вариативности данного показателя является содержание в почве гумуса, приведены уравнения, отражающие эту зависимость в различных типах почв. Сделан вывод о высокой информативности показателя плотности сложения почв и целесообразности использования ее для

диагностики их лесорастительных свойств, а также экспресс-оценки содержания в них гумуса.

Ключевые слова: лесные биогеоценозы; почвы; плотность сложения; вариабельность; факторы; математические модели.

Введение. Плотность сложения (ПС) почв – важнейший показатель, во многом определяющий через воздушный, водный и тепловой режимы условия обитания в почве корневых систем растений и всех организмов [5, 6, 8]. Он используется как для оценки лесорастительных свойств почв, так и для определения в них запасов влаги и химических элементов. ПС, представляющая собой массу единицы объема почвы в абсолютно сухом состоянии и естественной структуре, выражается обычно в г/см^3 . Наиболее благоприятные условия для развития растений отмечаются при ПС верхних горизонтов почвы в пределах от 0,95 до 1,15 г/см^3 .

Между фитоценозами и ПС почв имеется не только прямая, но и обратная связь, поэтому данный показатель широко используется в генетическом почвоведении для оценки изменения свойств почв под влиянием растительности [6, 7]. Так, ПС гумусового горизонта на злаковых лугах составляет 1,2-1,4 г/см^3 , в березняках – 1,0-1,3, а в сомкнутых ельниках – 0,9-1,1 г/см^3 . За 25 лет произрастания культур лиственницы, ели и дуба произошло снижение ПС верхнего 10-см слоя почвы, по данным С.В. Зонна и Е. А. Кузьминой [7], до 0,87, 0,88 и 0,91 г/см^3 , в то время как на пашне ее значение составляло 1,24 г/см^3 . Семидесятилетнее произрастание древесных пород показало устойчивую тенденцию снижения величины этого показателя под всеми породами [2].

Большое влияние на свойства почв, в том числе и величину их ПС, оказывают лесные пожары [10]. Установлено, к примеру, что в результате пирогенеза происходит уплотнение верхних горизонтов буроземов и увеличение запасов влаги в них, а в дерново-подзолистой почве, наоборот, снижение ПС верхних горизонтов.

Цель работы заключается в выявлении пределов изменчивости ПС почв в лесах Среднего Поволжья и выделении определяющих ее факторов, что обуславливается необходимостью совершенствования методов оценки лесорастительных условий.

Материал и методика исследований. Исходным материалом для анализа служили как данные собственных исследований, проведенных в различных биогеоценозах Республики Марий Эл, так и сведения по различным регионам Среднего Поволжья, приведенные в монографии А. Х. Газизуллина [4]. Для оценки величины ПС использовали стандартную методику [1, 3]: образцы почвы отбирали специальным буриком объемом 275,9 см^3 без нарушения её естественной структуры, высушивали в лаборатории до абсолютно сухого состояния и взвешивали на электронных весах с погрешностью $\pm 0,1$ г (масса навески варьировала от 110 до 500 г). Полученный цифровой материал обработан на компьютере с использованием общепринятых методов математической статистики и прикладных программ Excel и Statistika.

Результаты и их обсуждение. Величина ПС почв в лесных биогеоценозах Среднего Поволжья, как показали исследования, варьирует от 0,44 до 1,85 г/см^3 , составляя в среднем $1,33 \pm 0,01$ г/см^3 (табл. 1). С увеличением глубины почвы величина ПС асимптотически возрастает, стабилизируясь на отметке 100-120 см (рис. 1).

В результате расчетов нами было установлено, что основным фактором, определяющим вариабельность ПС, является содержание в них гумуса, с увеличением которого её величина закономерно снижается во всех слоях почв (рис. 2). Благоприятная величина ПС почв для развития древесной растительности создается, как свидетель-

ствуют приведенные данные, уже при содержании в них гумуса более 1 %. При содержании в почве гумуса более 6 % величина ПС составляет в основном менее 1,0 г/см³.

Таблица 1

**Статистические показатели плотности сложения почв
в лесных биогеоценозах Среднего Поволжья**

Источник данных	Значения параметров статистической выборки данных							
	N	M _x	S _x	m _x	V, %	p, %	A	E
Газизуллин А. Х. [4]	231	1,32	0,24	0,02	18,2	1,2	-0,902	0,545
Собственные данные	369	1,34	0,27	0,01	20,4	1,1	-1,120	1,303
Сводные данные	600	1,33	0,26	0,01	19,6	0,8	-1,046	1,106

Таблица 2

Статистические показатели плотности сложения почв в различных их генетических горизонтах

Генетические горизонты	Значения параметров статистической выборки данных							
	N	M _x	min	max	S _x	m _x	V, %	p, %
A ₁ – A ₁ A ₂	152	1,01	0,44	1,66	0,24	0,02	23,5	1,9
A ₂ – AB	95	1,36	0,95	1,70	0,15	0,01	10,8	1,1
B – BC	167	1,46	1,08	1,78	0,14	0,01	9,4	0,7
C – D	173	1,47	1,11	1,85	0,13	0,01	8,5	0,6

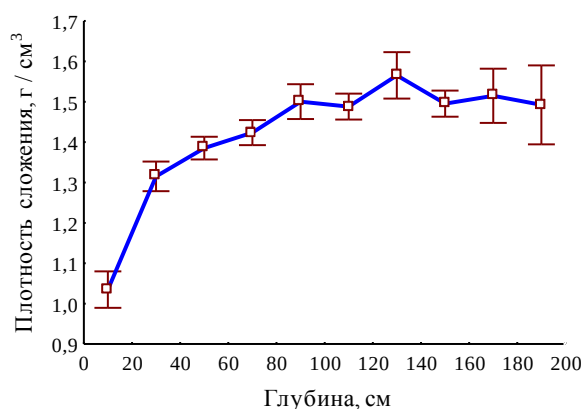


Рисунок 1 – Изменение плотности сложения почв с их глубиной

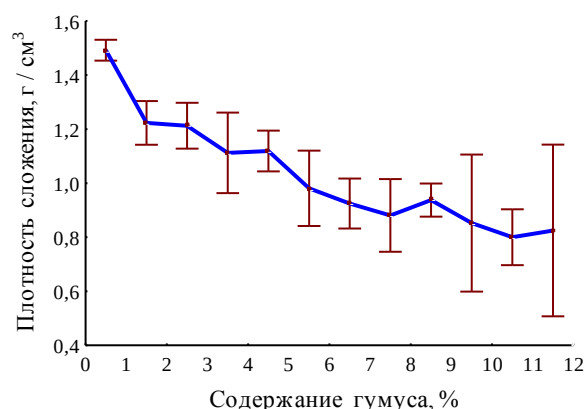


Рисунок 2 – Изменение плотности сложения почв с содержанием в них гумуса

Зависимость ПС почв (Y, г/см³) от величины содержания в них гумуса (X, %) с высокой точностью ($p < 0,001$) описывают следующие уравнения регрессии:

- для подзолистых почв $Y = 1,023 \cdot \exp(-28,80 \cdot 10^{-2} \cdot X) + 0,647$; $R^2 = 0,832$; $N = 112$;
- для буроземов $Y = 0,843 \cdot \exp(-10,82 \cdot 10^{-2} \cdot X) + 0,580$; $R^2 = 0,831$; $N = 150$;
- для лесных черноземов $Y = 1,065 \cdot \exp(-8,40 \cdot 10^{-2} \cdot X) + 0,429$; $R^2 = 0,857$; $N = 36$;
- для пойменных почв $Y = 1,014 \cdot \exp(-49,21 \cdot 10^{-2} \cdot X) + 0,688$; $R^2 = 0,739$; $N = 78$.

Зависимость величины ПС от содержания в почвах гумуса четко проявляется не только в лесных экосистемах, но и, как нами ранее было установлено [6], на лесных питомниках, где ее описывают здесь следующие уравнения регрессии:

- для слоя почвы 0-10 см $Y = 0,37 \cdot \exp(-0,649 \cdot X^{1,629}) + 1,13$; $R^2 = 0,509$; $N = 30$;
- для слоя почвы 10-20 см $Y = 0,37 \cdot \exp(-0,196 \cdot X^{1,904}) + 1,13$; $R^2 = 0,519$; $N = 30$;
- для слоя почвы 20-30 см $Y = 0,47 \cdot \exp(-0,270 \cdot X^{1,251}) + 1,13$; $R^2 = 0,657$; $N = 30$.

Величина ПС в определенной мере зависит также от содержания в почве глины, влияние которой, однако, намного слабее, чем содержания гумуса. Зависимость ПС от содержания в почве гумуса (X, %) и глинистых частиц (Z, %) описывает для всех типов почв мультипликативное уравнение регрессии:

$$Y = 1,35 \cdot \exp\{-84,98 \cdot 10^{-4} \cdot X^{0,5} \cdot [37 \cdot \exp(-62,27 \cdot 10^{-6} \cdot Z^2)]\} + 0,35; R^2 = 0,836; p < 0,001.$$

Наличие связи между параметрами позволяет решить и обратную задачу, т.е. оценить содержание гумуса в почве (Y, %) от величины ее ПС (X, г/см³). Расчеты показали, что для всех типов почв, кроме пойменных, эту зависимость описывает с высокой точностью следующее уравнение регрессии:

$$Y = 66,75 \cdot 10^5 \cdot X^{10,54} \cdot \exp(-13,77 \cdot X); R^2 = 0,889; p < 0,001.$$

Максимальное содержание гумуса, как свидетельствует графическое отображение данной зависимости (рис. 3), отмечается при величине ПС 0,70 ... 0,75 г/см³, после чего резко снижается, составляя 2,5-3,0 % при ПС = 1,2 г/см³ и 1,0-1,5 % при ПС = 1,4 г/см³.

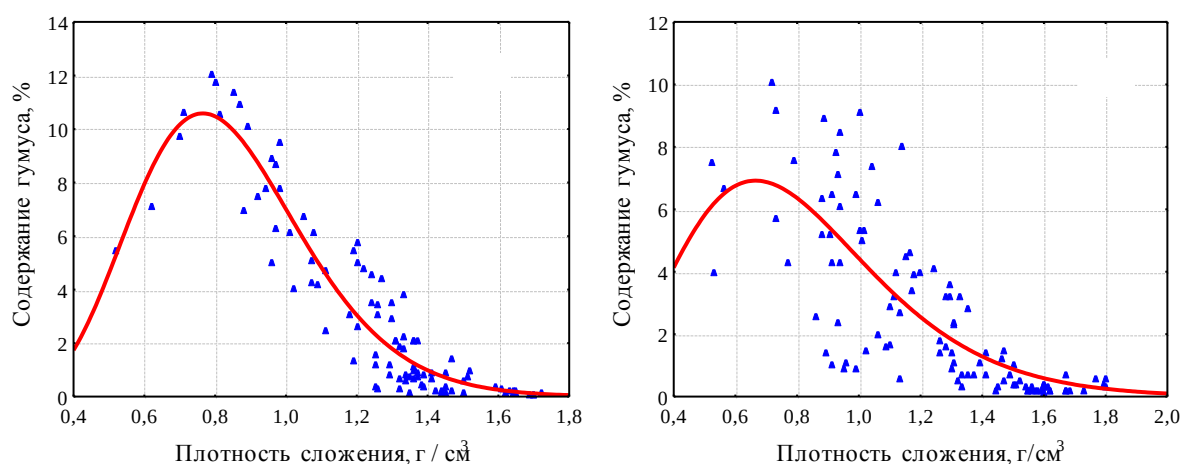


Рисунок 3 – Характер зависимости содержания в почвах гумуса с плотностью их сложения:

А – все типы почв, кроме пойменных; Б – пойменные почвы

Величины ПС и соответственно содержания в почве гумуса в определенной мере зависят, как показали результаты исследования, от состава древостоя. Так, наиболее высокая величина ПС отмечена под кронами деревьев дуба, а наименьшая – деревьев ели (табл. 3). Содержание же гумуса под этими породами деревьев как относительное, так и удельное, обратное, что связано с особенностями процесса накопления и разложения их опада, а также микроклимата и кислотности почв.

Таблица 3

Плотность сложения верхнего 10-см слоя почвы и содержание в ней гумуса под кронами деревьев разных пород в пойменном экотопе заповедника «Большая Кокшага»

Параметр	Значения параметров под кронами разных деревьев		
	дуба	липы	ели
Плотность сложения почвы, г/см ³	0,78 ± 0,014	0,76 ± 0,024	0,70 ± 0,019
Относительное содержание гумуса, %	4,68 ± 0,24	5,03 ± 0,39	5,78 ± 0,25
Удельное содержание гумуса, кг/м ³	36,5	38,2	40,5

Наиболее высокая ПС в горизонте А₁ коричнево-бурых почв отмечается, по данным А. Х. Газизуллина [4], в сосняке липовом, а наименьшая – в ельнике липовом; содержание же гумуса в этом горизонте наибольшей величины достигает под пологом дубняка лещинового (табл. 4).

Таблица 4

Плотность сложения и содержание гумуса в коричнево-бурых почвах разных экотопов

Горизонт	Значения параметров в разных экотопах*											
	Дубняк лещиновый			Березняк пролесниковый			Сосняк липовый			Ельник липовый		
	ПС	ОСГ	УСГ	ПС	ОСГ	УСГ	ПС	ОСГ	УСГ	ПС	ОСГ	УСГ
A ₁	0,81	10,53	85,3	0,70	9,72	68,0	1,11	4,70	52,2	0,52	5,50	28,6
AB	1,31	2,12	27,8	1,26	3,05	38,4	1,30	3,50	45,5	1,34	0,83	11,1
B	1,36	0,71	9,7	1,36	1,09	14,8	1,36	1,00	13,6	1,37	0,73	10,0

Примечание: ПС – плотность сложения почвы, г/см³; ОСГ – относительное содержание гумуса, %; УСГ – удельное содержание в почве гумуса, кг/м³.

Относительное содержание гумуса наиболее мало в сосняке липовом, а удельное – в ельнике липовом. По значениям этих параметров в горизонте АВ положение экотопов кардинально меняется: наибольшая величина ПС в ельнике липовом, а наименьшая – в березняке пролесниковом. Содержание же гумуса наиболее велико в почве сосняка липового, а самые низкие значения отмечены в ельнике липовом. Величина ПС горизонта В во всех экотопах примерно одинакова, содержание же гумуса наиболее велико в березняке пролесниковом, а самые низкие значения отмечены в дубняке лещиновом.

Итак, показатель ПС является весьма информативным, отражая лесорастительные свойства почв и содержание в них гумуса, а также изменение их под влиянием древостоев и проводимых хозяйственных мероприятий.

По результатам работы можно сделать следующие **выводы**:

- величина плотности сложения почв в лесных биогеоценозах Среднего Поволжья варьирует от 0,44 до 1,80 г/см³, составляя в среднем $1,27 \pm 0,01$ г/см³;
- с увеличением глубины почвы величина ПС асимптотически возрастает, стабилизируясь на отметке 100-120 см;
- благоприятные для развития корней растений имеются лишь на глубине не более 80 см, где величина ПС не превышает 1,5 г/см³;
- основным фактором, определяющим вариабельность ПС, является содержание в почве гумуса, с увеличением которого её величина закономерно снижается; величина ПС зависит также от содержания в почве глины, влияние которой, однако, намного слабее, чем содержания гумуса;
- благоприятная величина ПС почв для развития древесной растительности создается уже при содержании в них гумуса более 1 %, а при содержании гумуса более 6 % величина ПС составляет в основном менее 1,0 г/см³;
- зависимость величины ПС от содержания в почвах гумуса четко проявляется не только в лесных экосистемах, но и на лесных питомниках;
- характер изменения величины ПС по градиенту вертикального профиля в определенной мере зависит от типа почвы и состава древостоя;
- показатель ПС является весьма информативным, отражая лесорастительные свойства почв и содержание в них гумуса, а также изменение их под влиянием древостоев и проводимых хозяйственных мероприятий.

Список литературы

1. Атаманюк А. К. К методике определения плотности почвы // Почвоведение. 1970. № 4. С. 120-124.
2. Беляев А. Б. Лесные экосистемы и их влияние на свойства и плодородие почв лесостепи ЦЧР // Труды Института геологии Дагестанского НЦ РАН. 2014. № 63. С. 53-56.

3. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
4. Газизуллин А. Х. Почвенно-экологические условия формирования лесов Среднего Поволжья. Т. 1: Почвы лесов Среднего Поволжья, их генезис, систематика и лесорастительные свойства. Казань: РИЦ Школа, 2005. 496 с.
5. Демаков Ю. П., Митякова И. И. Пространственная неоднородность агрофона лесного питомника и ее влияние на биометрические показатели сеянцев // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 2. С. 68-75.
6. Захаров К. К. Основы почвоведения и географии почв. Йошкар-Ола: МарГТУ, 1999. 342 с.
7. Зонн С. В., Кузьмина Е. А. Влияние хвойных и лиственных пород на физические свойства и водный режим выщелоченных черноземов // Труды лаборатории лесоведения. М.: АН СССР, 1960. Т. 1. С. 145-201.
8. Карпачевский Л. О. Экологическое почвоведение. М.: ГЕОС, 2005. 336 с.
9. Королев В. А. К методике определения плотности сложения почв тяжелого гранулометрического состава // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2007. № 1. С. 76-79.
10. Назаркина А. В. Изменение плотности сложения и влагозапасов лесных почв долины р. Амур в результате действия пожаров // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2009. № 4. С. 37-41.

THE DENSITY OF THE COMPOSITION OF SOILS OF THE MIDDLE VOLGA REGION

Demakov Yury Petrovich, Nureyev Nail Bilalovic, Isaev Alexander Viktorovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

Estimated limits and regularities of variability of the density of the soil structure in forest ecosystems of the Middle Volga region. It is shown that the main factor of variability of this indicator is the content of soil humus, the equations that reflect this dependence in different types of soils. The conclusion about the high information content of density of soil structure and the feasibility of using it to diagnose their forest properties, and a rapid assessment of the content of humus.

Keywords: forest ecosystems; soil; the density of the composition; variability; factors; mathematical model.

УДК 630.181.351

40 ЛЕТ ГОСУДАРСТВЕННОМУ ПРИРОДНОМУ ЛЕСОМЕЛИОРАТИВНОМУ ЗАКАЗНИКУ РЕСПУБЛИКАНСКОГО ЗНАЧЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ «ЛЕБЕДАНЬ»

Кусакин Александр Васильевич¹, Карташов Максим Игоревич²

¹ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

²Департамент экологической безопасности, природопользования и защиты населения
Республики Марий Эл, г. Йошкар-Ола

В статье освещена история создания и изучения государственного природного лесомелиоративного заказника республиканского значения Республики Марий Эл «Лебедань».

Ключевые слова: природный лесомелиоративный заказник, гидролесомелиорация, низинные болота, лесопатология, высокопроизводительные леса, физико-механические свойства древесины.

Лесной участок «Лебедань» находится в Кокшайском лесничестве Звениговского района Республики Марий Эл. Массив расположен на надпойменной террасе реки Большая Кокшага, рельеф ровный с небольшими возвышенностями вдоль реки.

По данным лесоустройства 1913 года, болото «Лебедань» занимало площадь 334,4 десятины. Из них вырубki составляли 17,4 десятины, открытые болота – 33,8 десятины, лесопокрываемая площадь – 283,2 десятины. По почвенным условиям сфагновое моховое болото занимало 131,4 десятины, травяно-моховое – 15,2 десятины, почва перегнойная мокрая и сырая – 168,6 десятины и песчаная сырая – 19,2 десятины.

На болоте росли сосняки, березняки, ольшаники, осинники, средний возраст которых составлял 72 года, средний класс бонитета IV и средняя полнота 0,60.

Вся эта площадь была осушена в 1910-1912 году. Осушительная сеть состоит из шести осушителей, двух собирателей, расположенных на расстоянии 250-270 м и впадающих в магистральный канал под углом 70°. Протяженность каналов, прорытых вручную, – 11014 м, глубина при строительстве – 0,8-1,0 м.

В 1968 году прилегающие к нему болота на площади 1673 га, были осушены по одностадийному проекту, составленному Воронежской экспедицией «Союзгипролесхоз», а старая осушительная сеть, проложенная в 1912 году в западной части урочища «Лебедань» на площади 382,4 га, была капитально отремонтирована в 1972 году. В результате ремонта глубина каналов была доведена до 1,2-1,4 м.

Первые известные нам исследования на площади, которая была осушена в 1912 году, проведены А. Ф. Тимофеевым и А. А. Корепановым в 1965-1979 гг. Исследования показали, что за прошедшие 60 лет после осушения части болота, на нем сформировались высокопроизводительные сосняки, березняки и ольшаники II класса бонитета, IV-VII классов возраста. Кроме того, анализ полученных данных показал, что после осушения низинного болота в 1912 году в течение 20 лет в приканальном пространстве шло по нарастающей увеличение прироста в высоту, затем наступил спад, который можно разделить на два периода: удовлетворительного и плохого прироста. Удовлетворительный прирост в приканальной зоне продолжался 22 года, на межканальном пространстве – 25 лет. Таким образом, из приведенной выше динамики прироста сосняков в высоту видно, что общий удовлетворительный рост в приканальной полосе продолжался 42 года, а между каналами – 41 год, затем 18 и 19 лет (до ремонта осушительной сети) – снижение прироста.

Исследования, проведенные А. А. Корепановым [1], показали высокую лесоводственную эффективность осушения низинного болота «Лебедань», заслуживающую внимания лесоводов и гидролесомелиораторов.

С целью сохранения уникального для средней полосы высокопроизводительного лесного массива, возникшего на осушенном в 1912 году болоте «Лебедань» и имеющего научную ценность, Совет Министров Марийской АССР постановлением от 3 марта 1977 года № 159 «Об организации лесомелиоративного заказника «Лебедань» постановил:

1. Объявить лесомелиоративным заказником «Лебедань» лесные массивы лесов I группы Кокшайского механизированного лесхоза Кокшайского лесничества в составе кварталов № 44-46, 61-66, 77-80, 91-93 с общей площадью 1666 га.

2. Запретить на территории заказника «Лебедань» рубки главного пользования, подсочку леса, пастьбу скота и передачу лесов для освоения под другие виды угодий.

3. Обязать Министерство лесного хозяйства республики:

- при проведении в 1977 году лесоустройства разработать план ведения хозяйства на территории заказника «Лебедань», направленный на сохранение и улучшение данного объекта;

- регулярно проводить ремонт лесосушительной системы;

- ограничить свободный доступ населения на территорию заказника.

4. Разрешить Пермской ЛОС ЛенНИИЛХа для ведения научных работ организовать на территории «Лебедань» гидrolесомелиоративный стационар и проводить опытные работы по согласованию с Министерством лесного хозяйства Марийской АССР.

5. Контроль за ведением хозяйства возложить на Минлесхоз Марийской АССР.

Однако почти ничего не было сделано, лишь ученые продолжали научные работы в заказнике. Так, совместными исследованиями В. И. Пчелина [2] и А. А. Корепанова [1] физико-механических свойств древесины сосны, проведенными в 1979 году, было установлено, что плотность древесины в 117-летнем осушенном сосняке близка к средним показателям для центральных районов европейской части России, а плотность древесины в 77-летнем сосняке несколько ниже средних, что связано с усиленным ростом более молодого древостоя сосны после осушения. Показатели предела прочности древесины сосны при сжатии вдоль волокон имели высокие значения, равные 68 и 77 МПа соответственно.

В 1976 году группа мелиораторов во главе с членом-корреспондентом АН СССР Н.И.Пьявченко, возвращаясь из г. Перми с лесомелиоративного стационара, визуально ознакомилась с Лебеданью. Ученые и специалисты дали ей высокую оценку и наметили провести здесь семинар-совещание в 1986 году, который состоялся 5-8 августа под руководством ЛенНИИЛХа. Были выпущены тезисы докладов в Йошкар-Оле «Освоение осушенных земель в МАССР и ускорение научно-технического прогресса в гидrolесомелиорации». По результатам совещания было сделано заключение МНТС.

В течение 1985-1987 гг. В. И. Федюковым выполнялись поисковые исследования на объекте «Лебедань» по выявлению физико-механических свойств древесины сосны в связи с гидrolесомелиорацией с целью обоснования эффективных направлений по хозяйственному освоению насаждений на осушенных площадях, в частности, как потенциального сырья для Марийского целлюлозно-бумажного комбината.

Следующим шагом в становлении «Лебедани» стало постановление Правительства Республики Марий Эл от 9 марта 1994 г. № 59 «Об утверждении проектов установления границ земель природоохранного, природозаповедного, историко-культурного значения и ограниченного пользования на землях лесохозяйственных предприятий в границах административных районов и сводных материалов по Республике Марий Эл», утвердившим проект установления границ заказника на площади 1673 га.

Исследования на данной территории в 1994-1996 гг. продолжил А. В. Кусакин [3]. Он обследовал осушительную сеть, пробные площади А. А. Корепанова, заложил 13 пробных площадей на влияние гидrolесомелиорации и состояния осушительной сети на производительность древостоев и 3 – на влияние интенсивности осушения и состояния мелиоративной сети на основные физико-механические свойства ели, а также с И. А. Алексеевым в 1997 году 12 пробных площадей на влияние гидrolесомелиорации на статические и динамические таксационно-лесопатологические характеристики, с оценкой эффективности осушения [3].

В результате анализа было установлено следующее:

- осушение низинного болота «Лебедань» дало высокий лесоводственный эффект. Он проявился не только в увеличении стволовой массы, но и в хорошем естественном возобновлении. К 1997 году еловый подрост превратился во второй ярус под пологом соснового древостоя;

- одновременно за 85-летний период после осушения, благодаря хорошему разложению, торфяные почвы достигли значительного плодородия (зольность – 13,3 %, гумус – 12,4 %), обеспечивая высокую продуктивность второму ярусу. Заметна тенденция: чем выше влажность почв, тем ниже содержание питательных веществ, которое также уменьшается с увеличением глубины, а с увеличением проточности возрастает;

- установлено, что основными причинами повреждений каналов на низинном болоте являются: деформация и зарастание откосов, заиливание и завал канала деревьями. Наименьшие отклонения от проектных размеров наблюдаются на работающих каналах, расположенных в верхней части осушительной сети; наибольшие – в устье магистрального канала и на неработающих каналах вследствие бобровых плотин;

- деформация, зарастание и заиливание увеличиваются по длине каналов, причем чем больше протяженность канала, тем быстрее он заиливается к устью. Заиленное устье магистрального канала и бобровые плотины являются причинами вторичного заболачивания в урочище «Лебедань»;

- выявлены 4 основных фактора, определяющих состояние древостоев на осушенном болоте: возраст, полнота, богатство торфяных почв и УГВ. Вторичное заболачивание существенно влияет на производительность древостоев, уменьшая ее в первом ярусе на 40,0 %, во втором – 56,2 % и в целом по насаждению на 54,5 %; возраст древостоев первого яруса (в основном сосна) уменьшается от окрайки болота к центру. Второй ярус (в основном ель) возник после осушения болота;

- возраст второго яруса также уменьшается от окрайки болота к центру, а в межканальном пространстве – с удалением от канала. Отмечается общая тенденция уменьшения возраста второго яруса с уменьшением первого, и наоборот;

- полнота первого яруса около каналов значительно меньше, чем в межканальном пространстве как при работающих, так и при неработающих каналах, что объясняется большим вывалом более высоких деревьев в приканальной полосе: полнота второго яруса от степени осушения менее дифференцирована, но в обоих случаях больше в приканальной полосе. Наблюдается общая тенденция уменьшения полноты как в первом, так и во втором ярусе в связи с вторичным заболачиванием;

- сосновые древостои V-VI классов возраста стали развиваться по II-III классам бонитета, тогда как в семидесятых годах – по I-II классам бонитета, причем в связи с вывалом деревьев в приканальной полосе запасы первого яруса в межканальном пространстве стали больше. Средние таксационные показатели второго яруса (ели) на работающих каналах лучше на расстоянии 20 м по сравнению с пробными площадями, расположенными на расстоянии 125 м от канала. Так, средние запасы елового древостоя соответственно равны 155,5 и 147,1 м³/га. Эта тенденция сохраняется и на неработающих каналах, где запасы 103,7 и 66,2 м³/га;

- вторичное заболачивание отрицательно сказалось на производительности ели: так, средний запас на работающих каналах равен 151,3 м³/га, а на неработающих – только 85,0 м³/га. В целом по насаждению состояние осушительной сети сильно влияет на накопление запаса и составляет в среднем по работающим каналам 561,4 м³/га,

тогда как по неработающим – только 306,2 м³/га, т.е. потеря запаса составила 225,2 м³/га;

- средние показатели базисной плотности, пределов прочности на сжатие вдоль волокон и статический изгиб древесины ели, произрастающей во втором ярусе, близки по данным параметрам к показателям ели, выросшей в центральных районах европейской части России на дренированных почвах, и соответственно равны (355,6-365,0 кг/м³, 40,8-44,5 МПа, 78,3-79,5 МПа);

- интенсивность осушения и состояние мелиоративной сети влияют на плотность древесины ели. Худшие показатели плотности древесины вдоль работающих осушителей (344,6 кг/м³), по сравнению с межканальным пространством, объясняются лучшим ростом ели в связи с более благоприятными почвенными условиями. Вторичное заболачивание уменьшает производительность елового древостоя на 12 % и увеличивает плотность древесины на 0,17 % (345,2 кг/м³);

- пределы прочности древесины ели при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе изменяются по ходу роста, в зависимости от состояния мелиоративной сети. Здесь можно выделить три периода: по мере заиливания канала они увеличиваются, затем, после капитального ремонта, проведенного в 1972 году, быстро уменьшаются, но с началом вторичного заболачивания это падение замедляется;

- содержание поздней древесины прямолинейно взаимосвязано с ее плотностью и с увеличением заиливания канала растет, после проведенного ремонта древостой стал расти лучше, что привело к уменьшению содержания процента поздней древесины;

- история длительной работы системы осушительных каналов сложного в экологическом отношении (сочетание застойных и проточных вод, замкнутых низин и грив) лесоболотного массива «Лебедань» представляет ценность для оценки эффективности по разным параметрам, включая лесоводственную, древесиноведческую и лесозащитную;

- за 85 лет после осушения сосняки и березняки сфагново-разнотравные и травяно-болотные IV и V классов бонитета сменились елово-сосновым лесом кисличного и страусникового торфяного осушенного типов II- III классов бонитета, причем в основном II класс бонитета – при работающих, а III класс – при неработающих каналах;

- в результате осушения гидрогеологических свойств почвы и бурно протекающих нитрификационных процессов улучшилось почвенное плодородие, что привело к повышению запаса леса от 100 до 800 м³/га, способствовало развитию автотрофных растений, а отсюда – биоразнообразия, признака устойчивости;

- отставание гетеротрофной утилизации продуктов автотрофного метаболизма является характерным свойством осушенных лесов: в урочище «Лебедань» почти половина запаса лежит на земле в полуразлагающемся состоянии. В результате создались условия для успешного роста ели, которая достигла уровня запаса осушенной сосны;

- ветровал сосны, ели и березы за последние 20-30 лет сплошь захламил урочище, что резко усилило деятельность консументов и редуцентов в экосистеме. Все это идет, в первую очередь, на пользу продуцентной деятельности ели, которая наиболее обеспечена естественным возобновлением;

- достигнутый первоначальным осушением эффект, если не ухаживать за каналами, можно растерять. Но максимальный эффект осушения наступит тогда, когда продуцентная часть консорты достигнет уровня устойчивости за счет развития сме-

шанного леса. В настоящее время, к сожалению, лиственная примесь еще не представлена достаточной для этого уровня;

- такой подход к оценке эффективности осушения потребовал применения новых параметров, таких как определение наличного, свежего годичного и текущего отходов, условной фаутности – как интегрированных показателей интенсивности консументной деятельности облигатных паразитов, факультативных сапрофитов и паразитов;

- сосна при неработающих каналах на всех расстояниях от них показывает очень высокую фаутность – уровень трехкратного разрушения над созданием. После ремонта при работающих каналах разрушение древесины сосны на корню несколько уменьшилось, но еще остается высоким за счет увеличения поражения сосновой губкой;

- ель в приканальной полосе заметно улучшила свой рост, но больше стала вываливаться ветром. Работающие каналы уменьшили фаутность ели в 1,5 раза. Наименьшей фаутность ели оказалась в межканальном пространстве, а наибольшей – при неработающих каналах;

- годичный отпад ели I и II ярусов при неработающих каналах оказался наибольшим около канала и в середине межканального пространства. Связь между расстоянием еловой части насаждения от канала и годичным отпадом выражалась уравнением $y = 2,90 + 0,338x - 3,675 \log x$, а при работающих каналах объем годичного суммарного отпада ели увеличивается от канала к середине межканального пространства, достигая максимума на расстоянии 70-100 м, согласно уравнению параболы второго порядка $y = 1,0507 + 0,524x - 0,031x^2$. Связь текущего патологического отпада ели при неработающих каналах, в зависимости от расстояния, выражалась логарифмической кривой $y = 3,87 + 0,227x - 4,4151 \log x$, и его средние размеры превышали размеры нормального годичного отпада в 2,2-6,8 раза. При работающих каналах связь соответствовала кривой по уравнению $y = 2,43 - 504x + 4,5776 \log x$, достигая максимума на расстоянии 20-70 м от канала и превышая нормальный отпад при естественном изреживании леса в 3,2-4,0 раза;

- в числе дезинтеграторов древесины сосны при работающих каналах были: стволовая ядровая пестрая ситовая гниль от сосновой губки и рак-серянка соответственно 15,4 и 8,5 % при неработающих – гниль от сосновой губки (21,6 %), рак-серянка (15,4 %), белая гниль от опенка (6,2 %) и бурая гниль от столбового гриба;

- на ели с увеличением возраста (старше 80 лет) заметно повышалось поражение ядровой пестрой ситовой гнилью от еловой губки, ослабленные и отмирающие деревья быстро разрушались такими дереворазрушителями, как окаймленным еловым трутовиком и еловым трутовичком;

- ель в первом ярусе при работающих каналах была поражена только бурой гнилью (0,9 %), при неработающих – пестрой ситовой гнилью (2,5 %) и бурой (4,0 %). Во втором ярусе при работающих каналах ель была поражена пестрой ситовой гнилью (0,6 %) и бурой гнилью (0,6 %) и заболонной мелкой ситовой гнилью (3,0 %), при неработающих соответственно 4,0, 4,0 и 2,7 %;

- при неработающих каналах у сосны, ели и березы встречалось больше пороков древесины 1,4,6,7 групп по ГОСТ 2140-81, чем при работающих каналах. Все это обусловило более высокую фаутность сосны при неработающих каналах ($174,9 \text{ дм}^3/\text{м}^3$), чем при работающих ($102,3 \text{ дм}^3/\text{м}^3$). Для ели эти значения соответственно составили 69,7 и $44,1 \text{ дм}^3/\text{м}^3$, то есть ель отличается лучшей качественной характеристикой древесины;

– для более детальной оценки санитарного состояния деревьев учитывалось также распространение и других внешних признаков ослабленного состояния, таких как суховершинность, многовершинность, ажурная крона, однобокая крона, мелкохвойность, усыхание нижних ветвей кроны, приподнятость корневых лап, смолотечение, категории состояния деревьев по «Санитарным правилам в лесах РФ» (1997). Эти отклонения также вошли в условную фаутность. Все параметры ослабленного состояния деревьев использовались для составления прогнозных характеристик, которые при работающих каналах были в 1,58 раза выше, чем при неработающих. Все эти данные говорят о необходимости периодического проведения ухода за каналами, и особенно в первые 2-4 десятилетия после осушения.

Исследования ученых, а также работа специалистов Госкомприроды Марийской АССР, подготовивших в 2001 году паспорт ООПТ «Лебедань», а затем Министерства экологии и природопользования Республики Марий Эл, подготовивших проект постановления правительства привели к тому, что Правительство Республики Марий Эл постановлением от 4 апреля 2008 г. №84 «Об утверждении Положения о государственном природном лесомелиоративном заказнике республиканского значения «Лебедань» и о внесении изменений в постановление Совета Министров Марийской АССР от 3 марта 1977 г. №159» постановило:

1. Утвердить Положение о государственном природном лесомелиоративном заказнике республиканского значения «Лебедань».

2. Пункт 1 постановления изложить в следующей редакции:

«1. Объявить высокопроизводительный лесной массив, возникший на осушенном в 1912 году болоте «Лебедань», государственным природным лесомелиоративным заказником республиканского значения «Лебедань».

В соответствии с положением о заказнике его основными задачами являются:

– осуществление охраны природной территории в целях сохранения высокопроизводительного лесного массива, возникшего на осушенном болоте «Лебедань», и сохранения биологического разнообразия;

– проведение научных исследований в области гидролесомелиорации;

– ведение экологического мониторинга в рамках общегосударственной системы мониторинга окружающей среды на территории Республики Марий Эл.

Охрана заказника осуществляется работниками государственной лесной охраны государственного казенного учреждения Республики Марий Эл «Кокшайское лесничество».

В целях сохранения уникального природного комплекса на территории заказника введен особый режим, контроль за соблюдением которого в настоящее время осуществляется (постановление Правительства Республики Марий Эл от 21 апреля 2010 г. № 103) Департаментом экологической безопасности, природопользования и защиты населения Республики Марий Эл.

2 июня 2010 года комиссия в составе специалистов Департамента экологической безопасности, природопользования и защиты населения Республики Марий Эл, Министерства лесного хозяйства Республики Марий Эл и ГУ Республики Марий Эл «Кокшайское лесничество» провела рейд по обследованию территории заказника, по результатам которого установила:

– экологический мониторинг на территории заказника не проводился, в 2008 году в рамках выполнения работ по составлению Программы поддержки и развития сети ООПТ республиканского значения проведена инвентаризация территории заказника, по результатам которой даны рекомендации по поддержанию режима заказника и

необходимости проведения научно-исследовательских работ по оценке современного состояния фитоценозов и осушительной сети;

- в 2009 году Министерством сельского хозяйства, природопользования и продовольствия Республики Марий Эл проведены работы по установлению границ заказника «Лебедань» и постановке на кадастровый учет в Управлении Роснедвижимости по Республике Марий Эл территориальной зоны с особым режимом использования;

- ремонтные работы на осушительной сети не проводились с 1972 года, каналы значительно заилены, местами запружены плотинами бобров, стволами упавших деревьев;

- арендатором лесного участка, на котором расположен заказник, является ООО «Кокшайский лес»;

- на момент проведения рейда нарушений режима заказника не отмечено;

- в связи с ухудшением санитарного состояния произрастающих на территории заказника древостоев (перестойные) и нарушением системы водоотводов (заиливание, захламление, бобровые запруды) рекомендуется провести научные исследования по обоснованию целесообразности функционирования лесомелиоративного заказника.

К акту обследования от 2 июня 2010 г. № 2 следует добавить, что в 2010 году в Кокшайском лесничестве лесными пожарами пройдена площадь 10436,046 га, из них на особо охраняемых природных территориях – 7 га, и это площадь в южной части заказника «Лебедань».

К настоящему времени исследования ученых А. Ф. Тимофеева, А. А. Корепанова, А. В. Кусакина, В. И. Пчелина, В. И. Федюкова, И. А. Алексеева, Д. А. Корепанова, С. А. Корепанова, Н. А. Дружинина, А. Д. Корепанова показали высокую роль и большое значение государственного природного лесомелиоративного заказника республиканского значения «Лебедань»:

- осушение болотного массива в 1912 году для выращивания леса является одним из ранних в России и первым в Поволжье;

- гидролесомелиорация низинного болота дала высокий лесоводственный эффект, выразившийся в достижении на отдельных участках с работающими каналами запаса более 800 м³/га, тогда как средний запас спелых и перестойных древостоев сосны и ели в Республике Марий Эл 217 и 239 м³/га соответственно;

- заказник «Лебедань» является научным и учебным центром;

- оценка состояния осушительных каналов показала, что мелиоративная система урочища требует проведения текущего и капитального ремонта с восстановлением переходов через каналы и разборкой бобровых плотин;

- в Республике Марий Эл на низинных болотах естественное возобновление после осушения следует ориентировать на ель, дающую очень высокий лесоводственный эффект, или проводить реконструкцию лиственных молодняков с посадкой крупномерной ели;

- исследование основных физико-механических свойств древесины ели, произрастающей во втором ярусе под пологом соснового древостоя, показали, что в результате осушения низинного болота сформировалось высокопродуктивное двухъярусное насаждение с достаточно высоким качеством древесины ели, которую в первую очередь следует направить для изготовления дек музыкальных инструментов (выборочно), основную массу – на Марийский целлюлозно-бумажный комбинат для производства бумаги, т.к. у ели более длинные волокна и меньше смолы, чем у сосны, а также на тарную стружку для упаковки пищевых продуктов;

- фитопатологические исследования показали, что техническая и хозяйственная эффективность осушения, вычисленные по разным параметрам, постоянно уменьшаются с увеличением возраста осушенных древостоев сосны и ели. Поэтому следующей задачей исследователей этого уникального урочища является разработка системы рубок главного пользования с максимальным сохранением мелиоративной роли каналов.

Список литературы

1. Корепанов А. А. Водный режим лесов Прикамья. Ижевск: Удмуртия, 1984. 125 с.
2. Астратова А. Н., Пчелин В. И. К вопросу о строении, плотности и прочности древесины сосны обыкновенной в казанских географических культурах. Архангельск, 1981. 85 с.
3. Алексеев И. А., Кусакин А. В. Эффективность осушения сфагновых сосняков урочища «Лебедань». СПб.: СПбНИИЛХ, 1997. 180 с.

40 YEARS TO THE STATE NATURAL FORESTRY REGIONAL RESERVE OF MARIY EL REPUBLIC "LEBEDAN"

Kusakin Aleksandr Vasilyevich, Kartashov Maxim Igorjevic

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The history of the creation and study of the state natural forest melioration reserve of the republican significance of the Mari El Republic "Lebedan" is highlighted.

Keywords: hydro-forest melioration, lowland swamps, forest pathology, high-performance forests, physical and mechanical properties of wood.

УДК 634.17:631.531:631.53.011

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА СЕМЯН БОЯРЫШНИКОВ В УСЛОВИЯХ ИНТРОДУКЦИИ

Мухаметова Светлана Валерьевна

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
MuhametovaSV@volgatech.net

Изучены показатели качества семян боярышников, произрастающих в условиях Республики Марий Эл: масса 1000 семян, их размеры и доброкачественность. Изменчивость исследованных показателей качества семян обусловлена видовой специфичностью. Доброкачественность семян боярышников варьировала от 2,8 до 55,3 %.

Ключевые слова: боярышник, *Crataegus*, семена, доброкачественность.

Введение. Род боярышник (*Crataegus* L.) является одним из самых крупных по видовому и формовому разнообразию среди древесных и кустарниковых растений. Большинство видов боярышника произрастает в умеренной зоне Евразии и Северной Америки. Они отличаются обильной и ежегодной урожайностью, разными сроками созревания плодов, высокой зимостойкостью и засухоустойчивостью, что позволяет выращивать их в различных природно-климатических зонах. К почве боярышники нетребовательны, не нуждаются в специальном уходе, выносливы в городской среде.

При семенном размножении семена следует стратифицировать или применять осенний посев влажными семенами, не допуская их пересушки [1].

Целью исследования является представление результатов изучения качества семян интродуцированных видов боярышника (*Crataegus* L.) коллекции Ботанического сада-института Поволжского государственного технологического университета (г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл). Они представляют практический интерес как источник сырья, используемого в лекарственных и пищевых целях. В природной флоре республики виды боярышника отсутствуют.

Методики. Исследования были проведены в 2005–2014 гг. Объектами изучения стали растения 24 таксонов, указанных в таблице 1 [по 2, 3]. Растения произрастают в экспозиции «Дендрарий» БСИ ПГТУ [4], их возраст на 2014 год составил 26–62 года.

Таблица 1

Систематическое положение объектов исследования

Секция	Серия	Таксон
Подрод <i>Crataegus</i> L.		
<i>Crataegus</i> L.	<i>Ambiguae</i> Pojark	<i>C. volgensis</i> Pojark.
	<i>Crataegus</i> L.	<i>C. monogyna</i> Jacq. <i>C. rhipidophylla</i> Gand.
<i>Pinnatifidae</i> Zabel ex C.K. Schneid.	<i>Pinnatifidae</i> (Zabel ex C.K. Schneid.) Rehder	<i>C. pinnatifida</i> Bunge
Подрод <i>Sanguineae</i> Ufimov		
<i>Sanguineae</i> Zabel ex C.K. Schneid.	<i>Nigrae</i> (Loud.) Rus.	<i>C. chlorosarca</i> Maxim. <i>C. nigra</i> Waldst. et Kit.
	<i>Sanguineae</i> (Zabel ex C.K. Schneid.) Rehder	<i>C. altaica</i> (Loud.) Lange <i>C. maximowiczii</i> C.K. Schneid. <i>C. sanguinea</i> Pall.
<i>Douglasii</i> Loud.	<i>Douglasii</i> (Loud.) Poletiko	<i>C. douglasii</i> Lindl. <i>C. rivularis</i> Nutt.
Подрод <i>Americanae</i> El Gazzar		
<i>Crus-galli</i> Loud.	<i>Punctatae</i> (Loud.) Rehder	<i>C. punctata</i> Jacq. <i>C. punctata</i> f. <i>aurea</i> Aiton
<i>Coccineae</i> Loud.	<i>Molles</i> (Beadle ex Sarg.) Rehder	<i>C. arnoldiana</i> Sarg. <i>C. submollis</i> Sarg.
	<i>Coccineae</i> (Loud.) Rehder	<i>C. pringlei</i> Sarg.
	<i>Tenuifoliae</i> (Beadle ex Sarg.) Rehder	<i>C. flabellata</i> (Bosc) K. Koch <i>C. flabellata</i> var. <i>grayana</i> (Eggl.) Palmer
	<i>Rotundifoliae</i> (Eggl.) Rehder	<i>C. chrysocarpa</i> Ashe <i>C. chrysocarpa</i> var. <i>rotundifolia</i> (Ehrh.) Phipps et Sennikov
	<i>Macracanthae</i> (Loud.) Rehder	<i>C. calpodendron</i> (Ehrh.) Medik. <i>C. macracantha</i> Lodd.
	Межсекционный гибрид	<i>C. × persimilis</i> Sarg.
Межподродовый гибрид		<i>C. × almaatensis</i> Pojark. (<i>C. songarica</i> × <i>C. altaica</i>)

Массу 1000 семян определяли взвешиванием по 250 семян в 2-х повторностях по ГОСТ 13056.4–67 «Семена деревьев и кустарников. Методы определения массы 1000 семян». Взвешивание проводили на аналитических весах (2005–2009 гг.), электронных весах LEKI B2104 (2012 гг.) и SJCE VIBRA (2013–2014 гг.) с точностью 0,01 г. Размеры семян измеряли в 2010, 2013–2014 гг. штангенциркулем с точностью до 0,1 мм (30 измерений). Доброкачественность семян определяли методом взрезывания по

ГОСТ 13056.8–97 «Семена деревьев и кустарников. Метод определения доброкачественности». Материалы были обработаны с помощью пакета анализа прикладной программы Microsoft Excel. Уровень изменчивости оценен по Г. Н. Зайцеву [5].

Изложение результатов. Значения массы 1000 семян в годы исследования приведены в таблице 2. Виды указаны в порядке увеличения показателя.

Таблица 2

Масса 1000 семян боярышников, г

Наименование таксона	Годы исследования								Среднее многолетнее
	2005	2006	2007	2008	2009	2012	2013	2014	
<i>C. calpodendron</i>	–	22,4	–	20,3	–	–	18,5	–	20,4±1,13
<i>C. rivularis</i>	27,2	25,1	–	22,9	25,8	–	21,7	26,4	24,8±0,87
<i>C. nigra</i>	–	24,7	25,1	24,7	26,3	–	23,5	30,5	25,8±1,00
<i>C. sanguinea</i>	30,1	26,4	29,7	22,7	25,6	21,6	28,2	27,8	26,5±1,09
<i>C. maximowiczii</i>	33,3	–	27,1	25,3	–	26,6	–	20,6	26,6±2,03
<i>C. chlorosarca</i>	36,8	29,4	31,3	29,8	34,7	31,9	31,6	–	32,2±1,01
<i>C. altaica</i>	44,1	30,4	34,2	36,0	–	32,8	30,0	37,1	34,9±1,82
<i>C. flabellata</i> var. <i>grayana</i>	–	34,6	–	–	–	–	35,4	36,9	35,6±0,68
<i>C. pinnatifida</i>	–	–	–	46,6	–	–	32,2	–	39,4±7,20
<i>C. flabellata</i>	47,7	42,8	59,2	51,5	45,0	45,4	53,7	46,7	49,0±1,92
<i>C. almaatensis</i>	53,8	45,5	42,8	49,8	57,4	47,6	50,2	57,0	50,5±1,65
<i>C. macracantha</i>	53,2	51,0	–	55,4	64,3	61,3	47,2	41,8	53,4±2,55
<i>C. pringlei</i>	64,9	60,9	67,7	55,7	51,3	–	57,1	58,5	59,4±2,11
<i>C. chrysocarpa</i> var. <i>rotundifolia</i>	61,7	58,5	51,1	58,5	–	56,9	65,2	70,8	60,4±2,39
<i>C. arnoldiana</i>	–	–	–	60,8	62,9	–	62,5	59,4	61,4±0,81
<i>C. monogyna</i>	70,5	–	–	48,7	72,4	–	55,6	63,7	62,2±4,48
<i>C. punctata</i> f. <i>aurea</i>	51,6	55,3	–	66,1	65,2	72,7	56,5	68,3	62,2±2,94
<i>C. × persimilis</i>	75,7	–	–	–	–	–	74,9	61,5	70,7±4,60
<i>C. chrysocarpa</i>	75,5	70,3	82,1	69,7	79,1	59,2	–	69,7	72,2±2,85
<i>C. punctata</i>	68,9	67,7	–	–	81,6	73,4	73,4	71,3	72,7±2,01
<i>C. submollis</i>	76,4	74,8	76,2	71,6	83,9	–	85,9	83,5	78,9±2,06
<i>C. rhipidophylla</i> 1*	–	88,6	97,9	105,4	104,8	79,1	86,5	104,2	95,2±3,97
<i>C. volgensis</i>	118,2	105,7	107,6	92,1	114,9	114,9	96,7	106,8	107,1±3,22
<i>C. rhipidophylla</i> 2*	–	–	–	161,1	153,7	141,1	157,9	191,7	161,1±8,37

Примечание (здесь и далее): * – образец 1 поступил из БС ННГУ (г. Нижний Новгород), образец 2 – из БС НАН Кыргызской Республики (г. Бишкек).

Согласно данным таблицы 2, наибольшей массой обладали семена *C. rhipidophylla* 2, наименьшей – *C. calpodendron*. Однофакторный дисперсионный анализ показал, что фактор года (в т.ч. метеоусловия) не оказывал влияния на изученный показатель. Доля влияния фактора видовой специфичности на изменчивость показателя составила 95,7 %.

Межвидовая изменчивость средних многолетних значений массы 1000 семян изученных видов составила 55,2 %, что входит в значительный уровень варьирования.

Небольшой уровень погодичной изменчивости значений массы 1000 семян был выявлен у *C. arnoldiana* и *C. flabellata* var. *grayana* (2,7 и 3,3 % соответственно). Масса 1000 семян остальных видов характеризовалась нормальным варьированием: в нижнюю норму входили значения большинства видов (6,8–17,1 %), в верхнюю норму – только *C. pinnatifida* (25,8 %), что, вероятно, связано с малым количеством измерений.

В 2010, 2013–2014 гг. были изучены морфометрические показатели семян боярышников. Средние многолетние значения (со стандартной ошибкой) представлены на рисунке 1.

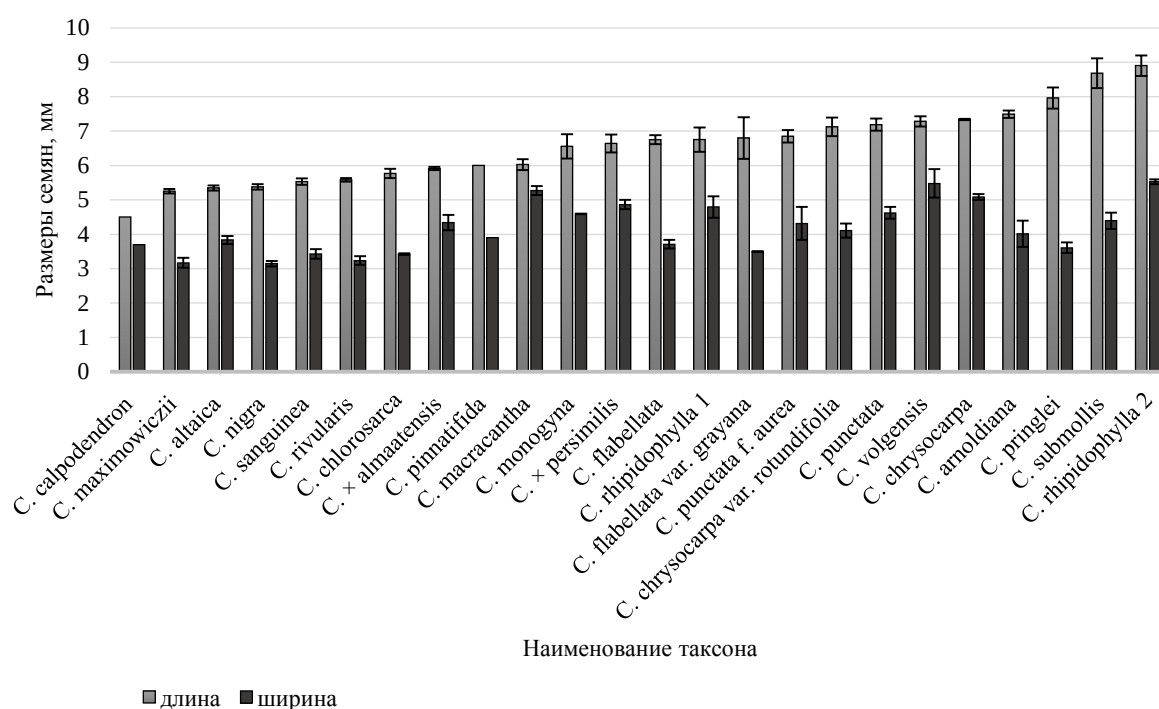


Рисунок 1 – Средние многолетние значения размеров семян боярышников

Наибольшим и наименьшим значением длины семян характеризовались те же виды, что и имели крайние значения массы семян – *C. rhipidophylla 2* и *C. calpodendron* соответственно. Изученные боярышники характеризовались низкой изменчивостью морфометрических показателей семян: межвидовая изменчивость длины семян в годы исследования составила 15,1-18,6 % (в среднем 16,6 %), ширины – 17,4-20,2 % (в среднем 17,6 %), что входит в нижнюю норму варьирования. В целом изменчивость длины семян меньше ширины. Это обусловлено, по-видимому, различной выполненностью семян, которая оказывала влияние на ширину семян в большей степени, чем на их длину. Размеры семян были обусловлены видовой специфичностью, доля влияния данного фактора в годы исследований на изменчивость длины семян составила 92,7 %, ширины – 86,1 %.

Между средними многолетними значениями длины и ширины семян выявлена прямая связь средней силы ($r = 0,55$). Сильная корреляция была характерна для значений массы семян и их длины ($r = 0,80$), массы семян и их ширины ($r = 0,83$), то есть большая масса соответствовала более крупным семенам.

Самыми крупными семенами обладают представители секции *Crataegus*, за исключением *C. monogyna*. Мелкими семенами характеризуются виды серий *Douglasii*, *Nigrae*, *Sanguineae*. Крупные семена характерны для серий *Macracanthae*, *Punctatae*, *Molles*, *Coccineae*, *Rotundifoliae*, *Tenuifoliae*. Полученные данные согласуются с данными Р. В. Вафина и В. П. Путенихина [6].

В 2005-2014 гг. была изучена доброкачественность семян боярышников, значения которой приведены в таблице 3.

Согласно данным таблицы 3, доброкачественность семян боярышников в годы исследования не превышала 70 %. Максимальное значение среднего многолетнего показателя составило 55,3 % (*C. monogyna*), минимальное – *C. × almaatensis* (2,8 %). У большинства видов доброкачественность семян варьировала в пределах 20-40 %.

Таблица 3

Доброкачественность семян боярышников, %

Наименование таксона	Годы исследования						Среднее
	2005	2006	2007	2008	2010	2014	
Евразийские виды							
<i>C. × almaatensis</i>	4,0	—	—	3,7	—	0,7	2,8±1,06
<i>C. altaica</i>	11,0	—	—	18,3	—	3,3	10,9±4,32
<i>C. chlorosarca</i>	—	16,6	21,2	35,4	14,0	—	21,8±4,77
<i>C. maximowiczii</i>	57,7	57,4	49,6	46,8	—	38,0	49,9±3,66
<i>C. monogyna</i>	—	—	—	—	55,3	—	55,3
<i>C. nigra</i>	41,7	—	—	20,3	—	65,3	42,4±13,01
<i>C. rhipidophylla</i> 1	31,7	—	—	—	—	28,0	29,9±1,85
<i>C. rhipidophylla</i> 2	—	—	—	40,0	—	—	40,0
<i>C. sanguinea</i>	39,0	39,3	35,5	41,6	19,3	21,7	32,7±3,96
<i>C. volgensis</i>	52,7	—	—	44,7	63,0	29,3	47,4±7,10
Североамериканские виды							
<i>C. arnoldiana</i>	—	—	—	32,3	—	28,7	30,5±1,82
<i>C. chrysocarpa</i>	16,3	—	—	15,3	42,7	28,7	25,7±6,41
<i>C. chrysocarpa</i> var. <i>rotundifolia</i>	—	—	—	11,0	37,7	35,3	28,0±8,53
<i>C. flabellata</i>	—	—	—	38,0	48,7	25,7	37,4±6,65
<i>C. flabellata</i> var. <i>grayana</i>	—	—	—	—	—	17,3	17,3
<i>C. macracantha</i>	—	—	—	12,7	54,3	24,7	30,6±12,38
<i>C. rivularis</i>	—	—	—	7,3	—	11,3	9,3±2,02
<i>C. × persimilis</i>	27,3	—	—	18,7	—	14,3	20,1±3,82
<i>C. pringlei</i>	—	—	—	—	31,7	16,7	24,2±7,50
<i>C. punctata</i>	23,5	—	—	—	34,0	44,0	33,8±5,92
<i>C. punctata</i> f. <i>aurea</i>	36,3	—	—	20,0	—	42,3	32,9±6,67
<i>C. submollis</i>	—	—	—	19,7	38,3	32,0	30,0±5,47

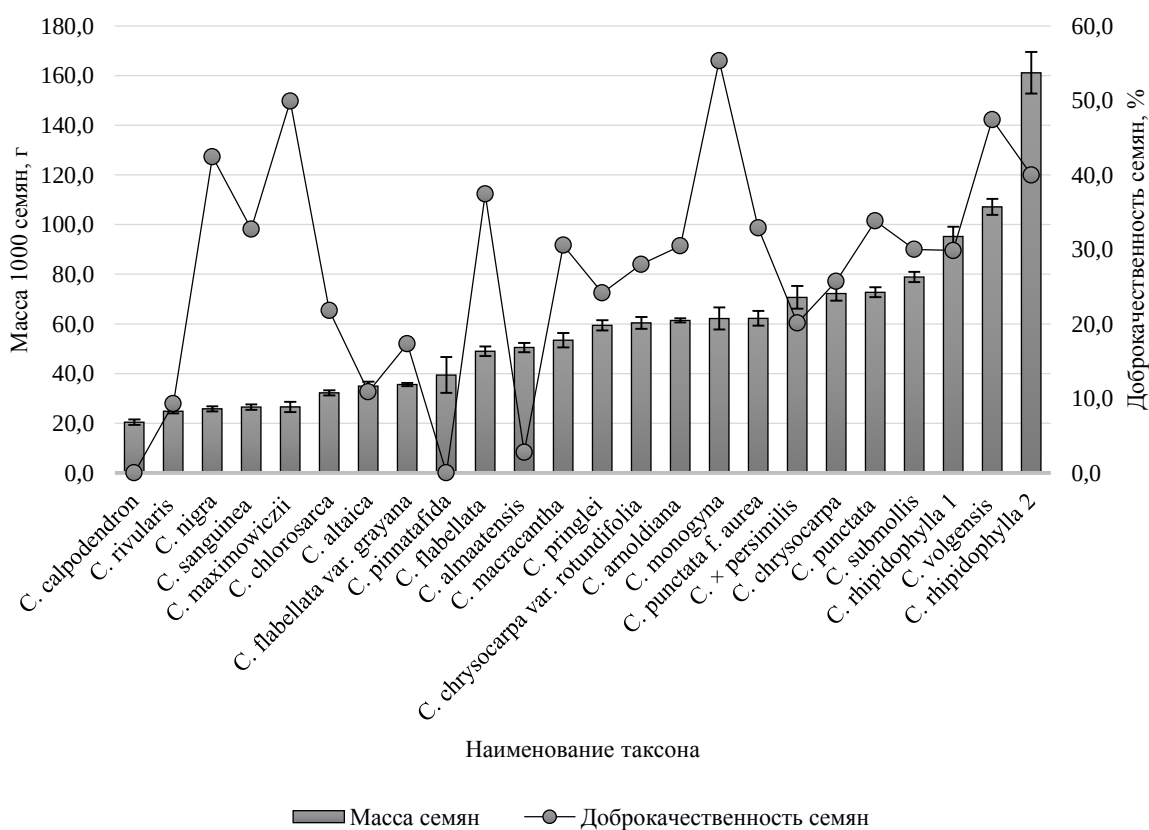


Рисунок 2 – Масса 1000 семян (столбцы) и доброкачественность семян (график)

Однофакторный дисперсионный анализ показал, что на изменчивость анализируемого показателя наибольшее влияние оказывал фактор видовой специфичности – доля его влияния составила 62,9 % ($F_{\text{факт.}} = 3,39 > F_{\text{крит.}} = 1,81$). Влияние фактора года не достоверно ($F_{\text{факт.}} = 1,70 < F_{\text{крит.}} = 2,37$).

На рисунке 2 приведены средние многолетние значения массы 1000 семян боярышников в порядке возрастания показателя и их доброкачественности.

Между средними многолетними значениями доброкачественности семян и их массы выявлена слабая прямая корреляция ($r = 0,29$). Между доброкачественностью и размерами семян выявлена слабая корреляция: коэффициент корреляции между данным показателем и длиной семян составил 0,17, шириной – 0,19.

Выводы. Таким образом, растения изученных таксонов боярышника в условиях Республики Марий Эл формируют семена различного качества. Размеры и масса семян обусловлены видовыми особенностями.

Самыми крупными семенами обладают представители секции *Crataegus*, за исключением *C. monogyna*. Мелкими семенами отличаются виды серий *Douglasii*, *Nigrae*, *Sanguineae*. Крупные семена характерны для видов серий *Macracanthae*, *Punctatae*, *Molles*, *Coccineae*, *Rotundifoliae*, *Tenuifoliae*.

Доброкачественность семян боярышников варьировала от 2,8 до 55,3 %, на данный показатель наибольшее влияние оказывал также фактор видовой специфичности.

Полученные данные могут быть использованы в практике семенного размножения в условиях Волго-Вятского региона.

Список литературы

1. Мухаметова С. В. Изменчивость показателей массы плодов и семян представителей рода Боярышник в Республике Марий Эл // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2015. № 1 (35). С. 146–150.
2. Phipps J. B., O'Kennon R. J., Lance R. W. Hawthorns and medlars. Portland: Royal Horticultural Society, 2003. 139 p.
3. Уфимов Р. А. Род Боярышник (*Crataegus* L., Rosaceae) во флоре Восточной Европы и Кавказа: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2013. 22 с.
4. Ботанический сад-институт ПГТУ: история, коллекции, исследования / С. М. Лазарева, С. В. Мухаметова, Л. В. Сухарева и др. Йошкар-Ола: Стринг, 2014. 108 с.
5. Зайцев Г. Н. Математика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1990. 296 с.
6. Вафин Р. В., Путенихин В. П. Боярышники: Интродукция и биологические особенности. М.: Наука, 2003. 224 с.

QUALITY INDICATORS OF HAWTHORN SEEDS IN INTRODUCTION CONDITIONS

Mukhametova Svetlana Valeryevna

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The quality indicators of hawthorn seeds in the Mari El Republic are studied: weight of 1000 seeds, their size and purity. These parameters are due to species differences. The purity of hawthorn seeds ranged from 2.8 to 55.3 %.

Keywords: hawthorn, *Crataegus*, seed, purity.

УДК 634.1.076

ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОНОШЕНИЯ СОРТОВ КАЛИНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ**Мухаметова Светлана Валерьевна**ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
MuhametovaSV@volgatech.net

Приведены параметры плодоношения сортов калины обыкновенной Ботанического сада-института Поволжского государственного технологического университета. Изученные сорта разделены на 3 кластера по величине плодов. Наибольшей межсортовой изменчивостью характеризовалось количество плодов в соплодии, в меньшей степени – масса плодов и диаметр соплодия, наименее изменчивы диаметр плодов и выход сухого сырья. Для сортов с большей массой плодов был характерен больший их диаметр, выход воздушно-сухого сырья обратно коррелировал с массой плодов.

Ключевые слова: калина обыкновенная, *Viburnum opulus*, плодоношение, масса плодов.

Введение. Калина обыкновенная – кустарник или дерево до 3–4 м высотой, имеющее декоративное, лекарственное и пищевое значение. В естественных условиях растет в лесной и лесостепной зонах европейской части России, в Сибири, на Кавказе, в Казахстане и странах Центральной Азии. Цветки белые, собраны в соцветия щитки до 8–10 см в диаметре. Периферийные цветки в щитке сравнительно крупные, стерильные, а внутренние – в 2–3 раза мельче, обоеполые, завязывают плоды. Цветет в мае–июне, плоды созревают в августе–сентябре. Плод – односемянная костянка, шаровидной или овальной формы до 10–12 мм в диаметре, красной окраски. Семена (косточки) округло-плоские, до 6–8 мм в диаметре. Мякоть сочная, сладковато-кисловато-горьковатая [1].

Лечебные достоинства калины связаны с горьким гликозидом – вибурнином, который обладает кровоостанавливающим действием (чем больше горечи, тем сильнее действие). В медицине используют плоды и кору калины. Плоды содержат до 20 % сухих веществ, сахаров до 11 %, пектиновых веществ 1,1 %, кислот (валерьяновой, муравьиной, уксусной и др.) до 3,28 %, витамина С до 40 мг% (100 мг%), каротина до 2,1 мг%, дубильных и красящих веществ до 1800 мг%. Р-активные полифенолы представлены катехинами, лейкоантоцианами, антоцианами, оксикоричными кислотами, флавонолами, количественный и качественный состав которых может изменяться как в течение сезона, так и в зависимости от места произрастания и условий года. Также в плодах содержатся витамины Е, К, В₂, В₉, минеральные вещества Na, K, Ca, Mg, P, Fe (до 5 мг/100 г) [1–3].

Свежие плоды съедобны, особенно их вкусовые качества улучшаются после первых заморозков, когда значительно снижается горечь. Настой плодов калины принимают как витаминное, общеукрепляющее, потогонное, слабительное и профилактическое средство. Сок и отвар ягод с медом используют при простуде, кашле, диарее, язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, колитах, геморрое, внутренних и носовых кровотечениях, при болезнях печени. Сок используют против угрей на лице, язвенных и гнойничковых заболеваний кожи, а при приеме внутрь он успокаивает боли при бронхиальной астме и гипертонии. Плоды калины тонизируют, улучшают работу сердца, оказывают мочегонное действие, полезны при неврозах, сосудистых

спазмах, атеросклерозе. Но на разных людей калина влияет неодинаково и даже может вызвать лихорадочное состояние [1–4].

Собирают плоды калины осенью в период их полной зрелости, вместе с плодоножками, связывают в пучки и подвешивают в неотапливаемом помещении. Они до весны сохраняют окраску, витамины и хороший вкус. Кроме того, их сушат на воздухе, в тени или в печах при температуре 60–70°C. Сушеные ягоды хорошо хранятся, влажность должна быть не более 15 % [2].

Плоды используют в пищевых целях: из них варят варенье, кисель, готовят желе, пастилу, мармелад, сок, начинку для пирогов, а также протирают их с сахаром [1–3]. У многих народов нашей страны любимым блюдом раньше была калина, пареная с медом, лепешки из калины и калина в меду [2].

В настоящее время существуют плодовые сорта калины обыкновенной. Селекционная работа в России ведется в НИИ садоводства Сибири им. М. А. Лисавенко, Федеральном научном центре имени И. В. Мичурина и других учреждениях. В США и Канаде пищевое значение имеет калина трехлопастная (как источник желе), созданы сорта 'Wentworth', 'Hans', 'Andrews', 'Manitou', 'Phillips' и др. [1].

Цель работы – изучение параметров плодоношения сортов калины обыкновенной коллекции Ботанического сада-института Поволжского государственного технологического университета (БСИ ПГТУ), г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл.

Объектами исследования стали образцы 9 таксонов коллекции БСИ [5]. Растения сортов 'Гранатовый Браслет' и 'Ульгень' получены из ГНУ ВНИИС им. И. В. Мичурина Россельхозакадемии (г. Мичуринск) в 2008 г., 'Красная гроздь' – из той же организации в 2004 г. Сорт 'Свердловская Крупноплодная' поступил из МГУ им. Ломоносова в 2007 г., 'Шукшинская' – из ЦСБС СО РАН (г. Новосибирск) в 2005 г. Сорт 'Дачная' приобретен в ООО «Садовая компания «Садко» (г. Москва) в 2005 г., 'Жолобовская' и 'Зарница' – в НПО «Сад и огород» (г. Челябинск) в 2003 г. Сорт 'Союзга' представлен двумя образцами из Мичуринска и Челябинска, поступившими в 2003 г. Растения перечисленных калин произрастают в экспозиции «Дикоплодовые растения», их возраст на 2015 год составил 10–15 лет.

Методики. Плоды собирали в сентябре 2015 г. У 10 соплодий линейкой определяли размеры по наибольшему диаметру с точностью до 0,1 см и подсчитывали в них количество плодов. Диаметр 15 плодов измеряли штангенциркулем с точностью до 0,1 мм. Плоды в 3 навесках по 100 шт. взвешивали на электронных весах SJCE VIBRA с точностью до 0,01 г, затем высушивали до воздушно-сухого состояния при температуре 70 °C в электрической сушилке для овощей и фруктов ЭСОФ-0,5/220 «Ветерок». Выход воздушно-сухих плодов, выраженный в процентах, получали отношением массы сухих плодов к массе свежесобранных.

Данные обработаны методами вариационной статистики с помощью пакета анализа Microsoft Excel на 95-процентном уровне значимости и с использованием пакета программ «Statistica 6.0». Уровень изменчивости оценен по Г. Н. Зайцеву [6]. Достоверность различия средних значений показателей рассчитана при $\alpha = 0,05$.

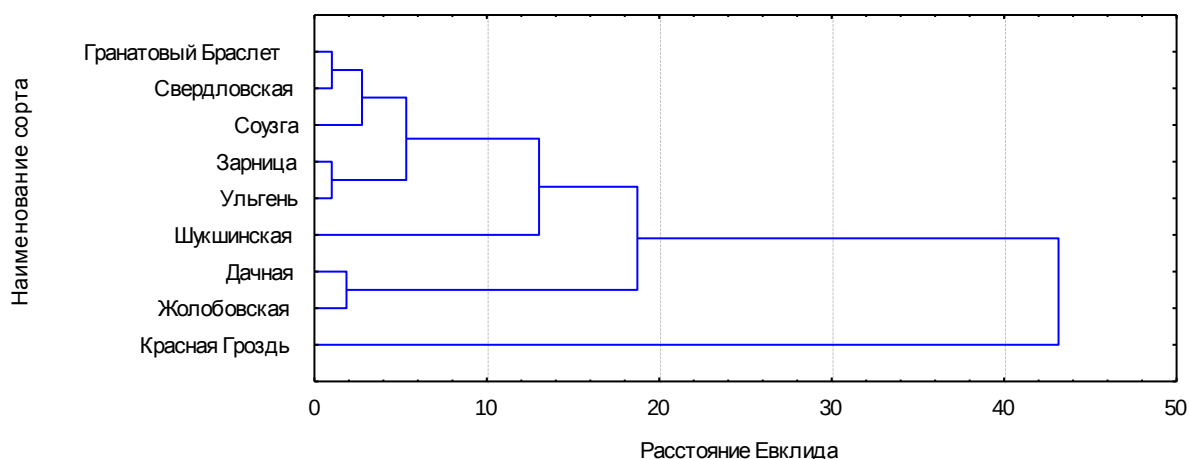
Изложение и анализ результатов исследования. Показатели плодоношения калины приведены в таблице.

Согласно данным таблицы, среди изученных сортов наибольшей массой и размерами плодов характеризовался 'Красная Гроздь', наименьшей – 'Шукшинская'. Коэффициент вариации массы плодов составил 16,5 %, диаметр плодов – 8,1 %, что свидетельствует об уровне изменчивости показателя в области «нижней» нормы. Коэффициент корреляции массы плодов с их диаметром составил 0,93. Различия между большинством сортов по данным показателям статистически достоверно.

Средние значения параметров плодоношения сортов калины обыкновенной

Наименование сорта	Масса 100 плодов, г	Диаметр плодов, мм	Выход воздушно-сухого сырья, %	Диаметр соплодия, см	Количество плодов в соплодии, шт.
‘Гранатовый Браслет’	57,5±1,71	9,7±0,12	17,3±0,42	7,0±0,28	34,4±0,25
‘Дачная’	66,5±2,07	10,3±0,13	19,4±0,20	5,8±0,38	18,5±2,33
‘Жолобовская’	64,6±2,16	10,2±0,09	16,7±0,21	6,5±0,36	31,2±3,10
‘Зарница’	60,2±1,83	9,4±0,21	15,6±0,14	5,7±0,48	23,1±4,32
‘Красная Гроздь’	86,0±0,83	12,0±0,14	17,0±0,20	7,5±0,43	29,6±5,07
‘Свердловская Сладкоплодная’	58,5±2,63	9,5±0,12	17,3±0,09	4,9±0,35	14,6±1,96
‘Союзга’	55,6±0,90	9,9±0,16	18,5±0,36	8,4±0,53	52,5±6,85
‘Ульгень’	60,3±1,46	10,4±0,10	18,4±0,59	7,6±0,40	45,2±3,78
‘Шукшинская’	49,6±3,26	9,3±0,13	18,3±0,35	7,1±0,29	44,0±3,66
Среднее	62,1±3,41	10,1±0,27	17,6±0,39	6,7±0,37	32,6±4,27
Коэффициент вариации, %	16,5	8,1	6,6	16,4	39,3

По результатам исследования была построена дендрограмма сходства на основе массы и диаметра плодов (см. рисунок).



Дендрограмма сходства сортов калины обыкновенной по массе и диаметру плодов

Согласно дендрограмме, среди изученных сортов выделено 3 кластера: с крупными плодами – сорт ‘Красная Гроздь’, со средними размерами плодов – ‘Жолобовская’ и ‘Дачная’, с мелкими – все остальные сорта.

Выход воздушно-сухого сырья характеризовался наименьшим варьированием (6,6 %) и изменялся от 15,6 % (‘Зарница’) до 19,4 % (‘Дачная’). Данный показатель имел отрицательную корреляцию с массой плодов ($r = -0,21$) и не был связан с их диаметром ($r = 0,03$). Различия между большинством сортов по анализируемому показателю статистически достоверны.

Размер соплодий имеет значение для декоративности растений, а также для удобства сбора плодов. Средний диаметр соплодий варьировал от 4,9 см (‘Свердловская Сладкоплодная’) до 8,4 см (‘Союзга’), коэффициент вариации составил 16,4 %. Количество плодов в соплодии колебалось от 17 до 53 шт. у этих же сортов соответственно. Различия между большинством сортов по данному показателю статистически достоверны.

Выводы. Таким образом, растения изученных сортов калины в условиях Республики Марий Эл успешно плодоносят.

Наибольшей межсортовой изменчивостью характеризовалось количество плодов в соплодии, в меньшей степени – масса плодов и диаметр соплодия, наименее изменчивы диаметр плодов и выход сухого сырья.

Сортам с большей массой плодов был характерен больший их диаметр, выход воздушно-сухого сырья обратно коррелировал с массой плодов.

Полученные данные могут быть использованы при организации плантационного возделывания сортов калины в условиях Волго-Вятского региона.

Список литературы

1. Витковский В. Л. Плодовые растения мира. СПб.: Лань, 2003. 592 с.
2. Ермаков Б. С. Лесные растения в вашем саду (плодово-ягодные деревья и кустарники). 2-е изд., доп. М.: Экология, 1992. 159 с.
3. Петрова В. П. Дикорастущие плоды и ягоды. М.: Лесная промышленность, 1987. 248 с.
4. Вигоров Л. И. Сад лечебных культур. Свердловск: Средне-Уральское книжное издательство, 1979. 176 с.
5. Коллекционные фонды Ботанического сада-института Марийского государственного технического университета / Л. И. Котова, С. М. Лазарева, Л. В. Сухарева и др.; отв. ред. С. М. Лазарева. Изд. 2-е, доп., испр. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. 152 с.
6. Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1990. 296 с.

FRUITING PARAMETERS OF VIBURNUM OPULUS VARIETIES

Mukhametova Svetlana Valeryevna

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The fruiting parameters of Viburnum opulus varieties in the Botanical garden-institute of VSUT are studied. The studied varieties are divided into 3 cluster according to the fruit size. The quantity of fruits in compound was characterized by the greatest variability between varieties. The weight of fruits and diameter of compound are less variable. The fruits diameter and the yield of dried fruits are least changeable. The bigger diameter of fruits corresponds to the higher weight of fruits. A yield of dried fruits inversely correlates with the fruits weight.

Keywords: *Viburnum opulus, fruiting, weight of fruits.*

УКД 674*028

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВЫХ И ЛИНЕЙНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ ДЕРЕВЯННОЙ ПИРАМИДЫ

Ширнин Юрий Александрович, Причинин Дмитрий Алексеевич

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
ShirninYA@volgatech.net

Статья посвящена методике разработки алгоритма определения угловых и линейных параметров деталей изготавливаемой из древесины четырехгранной пирамиды, а также построения графика зависимости угла между гранями пирамиды от ее размеров: высоты H и длине основания L .

Ключевые слова: деревянная пирамида, лечебная пирамида, основание, боковые грани, каркас, ребра, угол между гранями пирамиды.

Введение. Лечебная пирамида при кажущейся простоте по своей сути является сложным многофункциональным устройством, которое способно положительно воздействовать как на человеческий организм, так и на окружающую его среду, но только при условии правильного возведения и применения пирамиды. Пирамида представляет собой многогранник, основанием которого служит равносторонний многоугольник, а боковые грани – треугольники, имеющие одинаковые размеры [1].

Целью является разработка методики обоснования угловых и линейных размеров деталей каркаса и составных частей пирамиды для любых заданных размеров основания и высоты.

Задача исследования состоит в том, чтобы описать алгоритм построения графических изображений (сечений) с использованием метода замены плоскостей [2] для определения угла между гранями пирамиды и углов сопряжений между другими деталями пирамиды.

Возможны два варианта построения четырехгранной деревянной пирамиды. Первый – сборка щитов (граней) пирамиды и последующее их соединение, второй – сборка каркаса и последующая обшивка граней пирамиды. Первый вариант трудоемок ввиду значительного веса и габаритов щита. Рассмотрим второй вариант, который состоит в поочередной сборке каркаса и граней пирамиды [1]. При этом в процессе сборки каркаса происходит формирование угла между гранями.

Для сборки каркаса пирамиды необходимы бруски определенного сечения и длины в количестве четырех штук.

Сечение брусков будет зависеть от пропорций (размеров) пирамиды. Для определения формы поперечного сечения брусков необходимо найти угол между гранями будущей пирамиды. Для этого можно воспользоваться методом замены плоскостей [2]. Высокоточным способом определения угла будет построение чертежа в компьютерной программе AutoCAD или Autodesk Inventor, где можно воспользоваться функцией измерения угла. Угол в сечении бруска – существенный параметр, обеспечивающий плотное прилегание к нему обшивочных материалов граней пирамиды.

Рассмотрим два способа определения угла между гранями пирамиды с использованием графического моделирования.

Способ № 1 представлен на рисунке 1.

Графическое изображение пирамиды представлено в масштабе в соответствии с заданными пропорциями: $A_1B_1C_1D_1$ с вершиной S_1 .

Построение графического изображения начинается с главного вида пирамиды (плоскость 2 – $A_2S_2B_2$). Под главным видом изображается вид сверху (плоскость 1 – $A_1B_1C_1D_1$) на произвольном расстоянии $D_1D_2 = C_1C_2$.

Задаются буквенные обозначения всех точек пирамиды (основания и вершины).

Проводится линия, параллельная ребру пирамиды S_2B_2 , на произвольном расстоянии. Эта линия будет обозначаться $x_{2;4}$. Таким образом, плоскость 2 – $A_2S_2B_2$ заменяется на плоскость 4 – $C_4S_4A_4B_4$.

На главном виде пирамиды из точек основания $A_2 \equiv D_2$ и $B_2 \equiv C_2$ и вершины S_2 проводятся линии, перпендикулярные линии $x_{2;4}$.

Полученные пересечения обозначаем точками M_1 ; M_2 ; M_3 .

От линии $x_{2;4}$ откладываются расстояния: M_1S_4 , равное S_1S' ; M_2A_4 , равное A_1A_2 ; M_3C_4 , равное C_1C_2 ; M_3B_4 , равное B_1B_2 .

Полученные точки соединяются между собой. Таким образом, получается пирамида, на которой видно две грани $C_4S_4B_4$ и $B_4S_4A_4$, которые образуют искомый угол при ребре S_4B_4 .

Проводится линия, продолжающая ребро S_4B_4 на произвольное расстояние. Затем проводится линия $x_{4;5}$, перпендикулярная ей. Таким образом, плоскость 4 – $C_4S_4A_4B_4$ заменена на плоскость 5 – $C_5S_5A_5$.

Проводятся перпендикуляры из точек C_4 и A_4 к линии $x_{4;5}$. Полученные пересечения обозначаются точками N_1 ; N_2 ; N_3 .

Откладываются расстояния: N_1A_5 равное A_2M_2 ; N_2B_5 равное S_2M_1 ; N_3C_5 равное B_2M_3 . Соединением полученных точек, получается угол $C_5B_5A_5$. Замеряется: транспортиром на плоскости значение угла $C_5B_5A_5 = \text{углу } \alpha$; или в процессе построения в компьютерной программе AutoCAD.

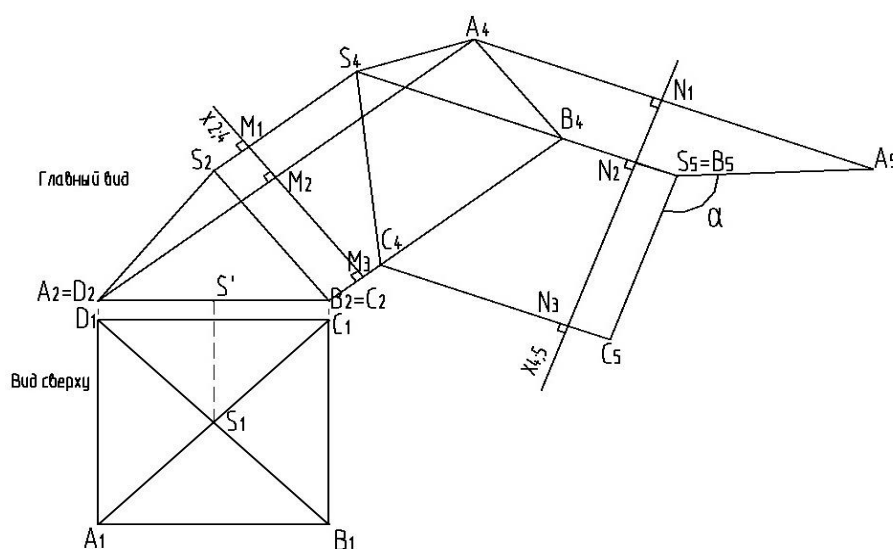


Рисунок 1 – Способ построения чертежа № 1

Способ № 2 проиллюстрирован на рисунке 2.

Графическое изображение пирамиды представлено в масштабе в соответствии с заданными пропорциями.

Необходимо строить так, чтобы на главном виде (плоскость 2 – $A_2D_2S_2B_2$) было изображено две грани пирамиды. Вид сверху (плоскость 1 – $A_1D_1C_1B_1$) располагается строго под главным видом на произвольном расстоянии $C_1A_2 = C_1C_2$.

Задаются буквенные обозначения всех точек пирамиды (основания и вершины).

Проводится линия, продолжающая ребро S_2B_2 . К этой линии строится перпендикулярная линия $x_{2;4}$ на произвольном расстоянии.

Из точки $A_2 = C_2$ проводится линия, перпендикулярная $x_{2;4}$.

Полученные пересечения обозначаем точками M_1 ; M_2 .

От линии $x_{2;4}$ откладываются расстояния: M_1C_4 , равное C_1C_2 ; M_1A_4 , равное A_1A_2 ; M_2B_4 , равное S_1A_2 . Соединением полученных точек получается угол $C_4B_4A_4$. Замеряется: транспортиром на плоскости значение угла $C_4B_4A_4 = \text{углу } \alpha$; или в процессе построения в компьютерной программе AutoCAD.

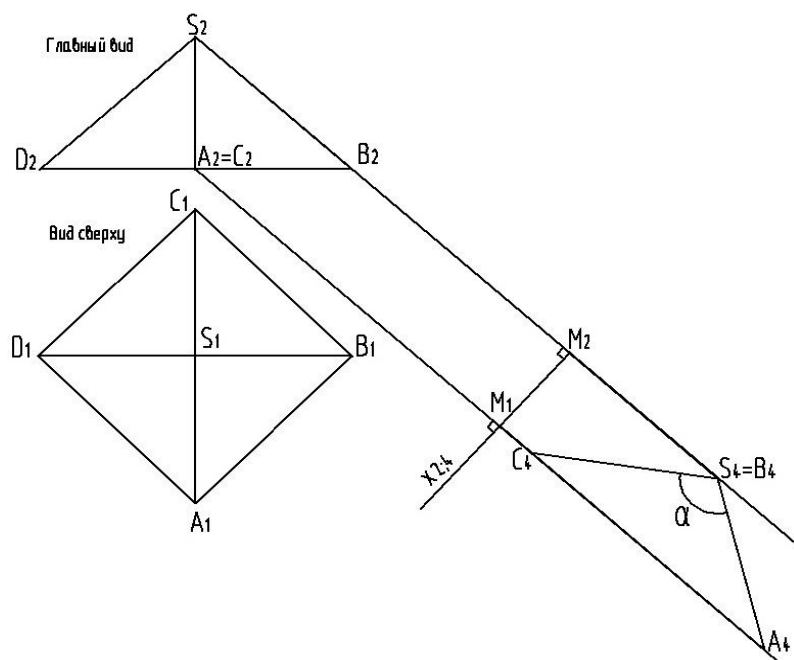
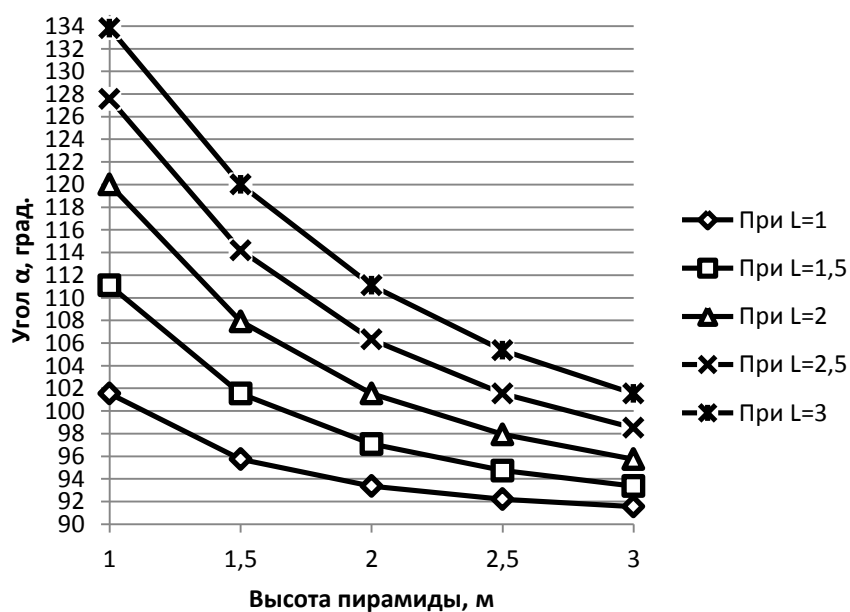


Рисунок 2 – Способ построения чертежа № 2

На графике, представленном на рисунке 3, показана зависимость угла между гранями пирамиды от заданных – высоты H и длины основания L – размеров.

Рисунок 3 – Диаграмма зависимости угла α от высоты H , при заданной длине основания L

Выводы. С использованием метода замены плоскостей [2] разработаны изложенные выше методики поиска угла поперечного сечения бруска для изготовления ребер каркаса деревянной лечебной пирамиды.

При проектировании заказчик исходит из площади территории, отводимой под постройку пирамиды. В соответствии с этим выбирается размер стороны основания пирамиды L и по известным пропорциям [1, 3].

Список литературы

1. Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России: материалы II Всероссийской студенческой конференции (Йошкар-Ола, 21-25 ноября 2016 г.): в 8 ч. Часть 2: Идеи и решения для инновационного развития лесных и лесоперерабатывающих технологий. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2016. 140 с.
2. Гордон В. О., Семенцов-Огиевский М. А. Курс начертательной геометрии: учеб. пособие / под ред. Ю. Б. Иванова. 23-е изд., перераб. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. 272 с.

**METHOD OF DETERMINING ANGULAR AND LINEAR
PARAMETERS OF DETAILS OF WOOD PYRAMID**

Shirnyn Yuri Aleksandrovich, Prichinin Dmitry Alekseevich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

Using the method of replacing planes, the method of finding the cross-sectional angle of the bar for making the edges of the framework of a wooden leicibate pyramid is described above.

Keywords: *wooden pyramid, therapeutic pyramid, bottom, lateral faces, frame, slats, angle between faces of the pyramid.*

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ И МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.371.25; 550.388.2

ПАССИВНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ МНОГОМЕРНОГО ИОНОСФЕРНОГО КВ РАДИОКАНАЛА

Бельгибаев Руслан Рашидович

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
BelgibaevRR@volgatech.net

Исследована задача повышения эффективности передачи информации по ионосферному КВ радиоканалу в случае его пассивного зондирования. Представлены основные параметры стохастического канала с рассеянием (рассеяние во временной и частотной областях и отношение сигнал-шум) и модема связи, влияющие на эффективность работы связной системы. Разработаны алгоритмы оценки параметров канала при пассивном зондировании и алгоритмы оценки доступности КВ радиоканала при адаптации системы связи к состоянию канала.

Ключевые слова: короткие волны, пассивный зонд, ионосфера, многомерный КВ радиоканал, корреляционный интеграл, рассеивание по задержке, доплеровское рассеивание, доступность канала.

Введение

Связь на коротких волнах (КВ) в настоящее время является резервным видом. Основную роль играет спутниковая связь. Однако она может быть мгновенно парализована при конфликтах; неустойчиво работает в приполярных районах с широтой выше 70 градусов; ее содержание в актуальном состоянии требует больших финансовых затрат. Преодоление этих проблем видится в использовании на новом уровне более дешевой дальней связи на КВ. В этой связи нами исследовалась задача повышения качественных характеристик КВ связи на основе применения метода пассивного зондирования, не требующего создания для зондирования специальной приемной аппаратуры.

Цель работы – развитие алгоритмов пассивного зондирования КВ радиоканала, позволяющих оценивать актуальные параметры канала и проведение исследования их эффективности в смысле оценки доступности канала при пассивном зондировании на среднеширотной трассе о. Кипр – Йошкар-Ола.

Структура ионосферы и основные причины ионосферных возмущений. Ультрафиолетовое, рентгеновское и корпускулярное излучения Солнца ионизируют атмосферу Земли. На высотах порядка 1000 км и более атмосфера является полностью ионизированной, но так как она сильно разрежена, то концентрация ионов и электро-

нов очень мала. На более низких высотах увеличивается концентрация газов, сильнее поглощается излучение Солнца и существенно увеличивается концентрация ионов. На еще более низких высотах степень ионизации снова становится небольшой, так как энергия солнечной радиации израсходовалась на ионизацию вышестоящих слоев [1, 2]. На уровне земли атмосфера является электрически нейтральной [3]. Область, где концентрация ионов и электронов наибольшая, известна как ионосфера (рис. 1) [1, 2].

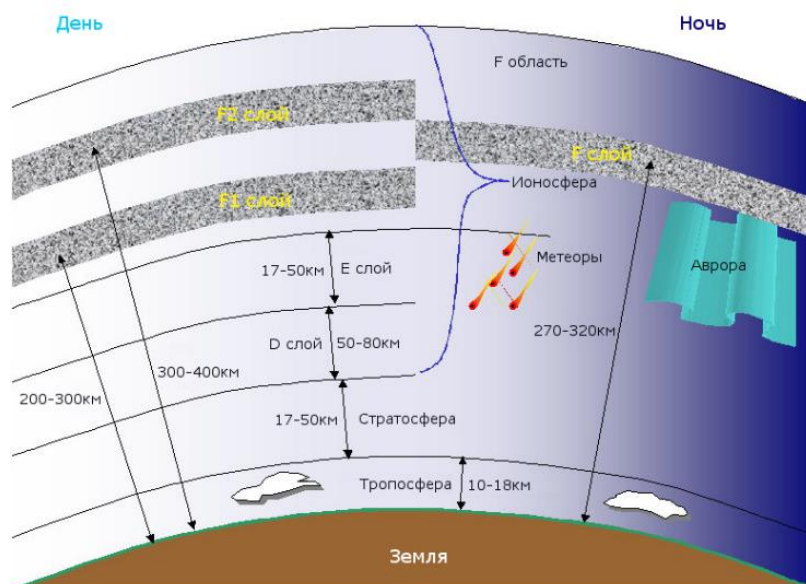


Рисунок 1 – Структура ионосферы

Когда любая часть атмосферы Земли находится в равновесии, ее структура и состояние определяются гравитационным полем Земли, так что можно говорить о горизонтально-слоистой структуре атмосферы [1-3].

Высота, где ионизация достигает максимума, зависит от коэффициента поглощения в воздухе ионизирующей составляющей солнечной радиации, а также от механизма рекомбинации ионов и электронов. Различные компоненты излучения Солнца ионизируют атмосферу по-разному и приводят к максимумам ионизации на различных высотах [1, 2]. Таким образом, существует несколько различных ионосферных слоев. Основные слои известны как E и F [1-3].

В то время как в невозмущенном виде ионосфера является сложной и весьма неоднородной системой, существуют механизмы, которые могут вызвать серьезные отклонения ее параметров, известные под общим названием ионосферных возмущений. Возмущения ионосферы являются результатом событий, происходящих на Солнце. Основными причинами ионосферных возмущений являются солнечные вспышки.

Рентгеновские вспышки разделены по классам (табл. 1).

Таблица 1

Классы солнечных вспышек [19]

Обозначение	Интенсивность рентгеновского излучения в пике (Вт/м ²)
A	$< 10^{-7}$
B	$10^{-7} - 10^{-6}$
C	$10^{-6} - 10^{-5}$
M	$10^{-5} - 10^{-4}$
X	$> 10^{-4}$

Основные причины и их эффекты показаны на рисунке 2.

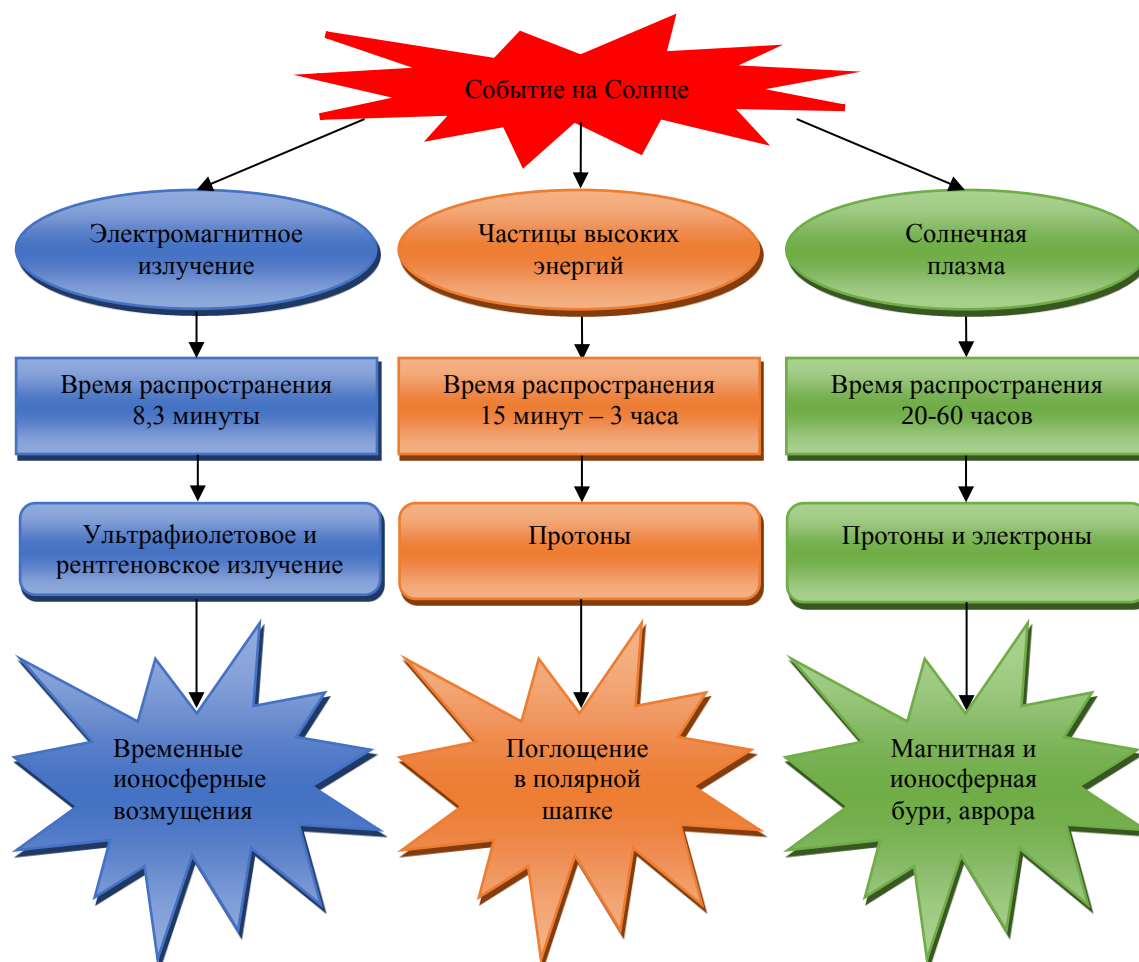


Рисунок 2 – Ионосферные возмущения и их причина

Эффекты, вызванные событиями на Солнце, делятся на внезапные ионосферные возмущения (ВИВ), геомагнитные бури и поглощения в полярной шапке.

Внезапные ионосферные возмущения (ВИВ). Кратковременное изменение прозрачности радиодиапазона, вызванное рентгеновским излучением солнечной вспышки, из-за увеличения поглощения в D-области. Они имеют быстрое нарастание (порядка нескольких минут) и более медленный спад (как правило, в течение одного или двух часов). Внезапные отклонения частоты вызывают положительные и отрицательные доплеровские сдвиги при распространении радиосигналов, так как эффективная высота слоя вначале уменьшается (из-за увеличения ионизации), а затем возвращается к исходной величине. Если солнечным вспышкам сопутствует небольшое изменение в поглощении ВЧ, то основной причиной ВИВ является ультрафиолетовое излучение.

Поглощение в полярной шапке (ПВПШ). Во время больших солнечных вспышек излучаются также высокоэнергичные протоны. При входе в ионосферу они вызывают ионизацию при столкновении с молекулами газа. Эффект может длиться в течение нескольких дней и проявляется в виде сильного поглощения радиоволн в дневное время. Эффект начинается на высоких широтах и может распространяться южнее.

Ионосферные бури. Ионосферные бури (ИБ) вызваны воздействием на магнитное поле Земли потоков выбрасываемой при вспышке «замагниченной» солнечной плазмы.

мы. Они включают геомагнитные бури, полярные сияния и т.д., влияют на распространение радиоволн на средних и низких широтах. ИБ могут сопровождаться авроральным поглощением радиоволн в D -области, возникновением аврорального E_s слоя, увеличения толщины $F2$ -слоя, появлением замираний и увеличением уровня помех. ИБ могут продолжаться несколько дней.

Многомерный КВ радиоканал и его размерность. Среда распространения или электромагнитный тракт связи, соединяющий передающее и приемное устройства называются каналом. Каналы могут представлять собой атмосферу, ионосферу или другую среду, в которой распространяются радиоволны. В этом случае говорят о радиоканале [4]. При распространении в ионосфере амплитудно-фазовые соотношения сигнала нарушаются, что приводит к искажению в точке приема. Существует несколько подходов к описанию распространения радиосигналов в средах. Однако наибольшее развитие получил подход, когда физическая среда распространения заменяется эквивалентной линейной системой [5-10]. Эта задача наиболее легко решается, когда проблема распространения радиоволн рассматривается в лучевом приближении. В этом случае каждому приходящему на приемник лучу можно поставить в соответствие свой тракт эквивалентной линейной системы.

Обычно линейная система описывается системными характеристиками: частотной характеристикой (ЧХ) линейной системы (радиоканала), которая определяет отклик этой системы на любое входное воздействие (сигнал) и импульсной характеристикой (ИХ):

$$H(\omega) = R_0(\omega) \cdot \exp(-j \int k dr) \text{ и } h(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} H(\omega) \cdot \exp(j\omega\tau) d\omega. \quad (1)$$

Известно, что для электромагнитных колебаний ВЧ диапазона от передатчика до приемника, разнесенных на многие тысячи километров, доходят радиоволны на частотах от $f_m = \text{ННЧ}$ до $f_M = \text{МНЧ}$. Поэтому на ионосферной линии связи можно организовать J частотных радиоканалов с полосой частот B_c , где $J = (f_M - f_m) / B_c$. Поэтому параметр J можно считать частотной емкостью линии ВЧ связи.

Принимая во внимание формулу (1), для ИХ канала можно получить следующее выражение:

$$h(\bar{\omega}, \tau, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} H(\omega, t) \cdot \exp(j\omega\tau) d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_m}^{\omega_1} + \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_1}^{\omega_2} + \dots + \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_{M-1}}^{\omega_M} = \quad (2)$$

$$= h(\bar{\omega}_1, \tau, t) + h(\bar{\omega}_2, \tau, t) + \dots + h(\bar{\omega}_J, \tau, t),$$

где $\bar{\omega}_j = \bar{\omega}_1 + j \cdot B_c$, $h(\bar{\omega}_j, \tau, t)$ – парциальный канал.

Формула (2) позволяет рассматривать все множество парциальных каналов ВЧ линии связи как ИХ многомерного (векторного) ВЧ радиоканала с координатами

$$\vec{h}(\bar{\omega}, \tau, t) = \{h(\bar{\omega}_1, \tau, t); h(\bar{\omega}_2, \tau, t); \dots; h(\bar{\omega}_J, \tau, t)\}. \quad (3)$$

Размерность многомерного канала совпадает с частотной емкостью ВЧ линии связи.

В КВ-диапазоне для аналоговой или цифровой связи характерно частотное разделение парциальных каналов, для которых обычно используются полосы $B_c \approx 3 \text{ кГц}$. Частотный канал технически задаётся радиоприёмной аппаратурой, основной функцией которой является полосовая

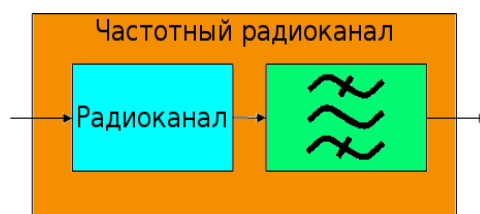


Рисунок 3 – Блок-схема частотного радиоканала

фильтрация (рис. 3). Именно совокупность радиоканала и полосового фильтра образуют парциальный частотный радиоканал.

Покажем, что корреляционный интеграл пропорционален ИХ канала.

Пусть передающим терминалом зонда излучается ЛЧМ сигнал вида

$$u_T(t) = \sqrt{2P} \cos \frac{\dot{\omega}}{2}(t - t_{ch})^2 = \sqrt{2P} \cos \frac{\dot{\omega}}{2} \hat{t}^2, \quad (4)$$

где $\dot{\omega} = \frac{d\omega}{dt}$ – скорость изменения частоты; P – мощность сигнала; t_{ch} – чирп-тайм (время, когда частоты равна нулю).

Его частота равна

$$\omega = \dot{\omega}(t - t_{ch}) = \dot{\omega} \hat{t}. \quad (5)$$

Частота зондирующего сигнала изменяется в диапазоне 3-30 МГц со скоростью 100 кГц. Поэтому он называется непрерывным.

Введем нормированный сигнал

$$\hat{u}_T(t) = \frac{u_T(t)}{|u_T(t)|} = \frac{u_T(t)}{\sqrt{2P}}. \quad (6)$$

База излучаемого сигнала составляет $\sim 10^{10}$. Поэтому его спектр $U_T(\omega)$ может быть вычислен методом стационарной фазы [11]. Результат показывает, что амплитудный спектр является однородным и равен [11, 12]:

$$|U_T(\omega)| \approx |U_T(\bar{\omega})| = \sqrt{P \frac{\pi}{\dot{\omega}}}. \quad (7)$$

Введем нормированный спектр такого сигнала:

$$\hat{U}_T(\omega) = \sqrt{\frac{2\dot{\omega}}{\pi}} \cdot \frac{U_T(\omega)}{|U_T(\bar{\omega})|}. \quad (8)$$

Корреляция с нормированным по амплитуде излучаемым сигналом дает результат:

$$\begin{aligned} U_{RT}(\tau) &= \int_{\tau}^{\tau+T} u_R(\hat{t}) \cdot u_T^*(\hat{t} - \tau) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} U_R(\omega) \cdot U_T^*(\omega) \cdot e^{j\omega\tau} \frac{d\omega}{2\pi} = \\ &= \sqrt{\frac{\dot{\omega}}{\pi P}} \int_{\tau}^{\tau+T} u_R(\hat{t}) \cdot \hat{u}_T^*(\hat{t} - \tau) dt = \sqrt{\frac{\pi}{2\dot{\omega}}} |U_T(\bar{\omega})| \int_{-\infty}^{+\infty} U_R(\omega) \cdot \hat{U}_T^*(\omega) \cdot e^{j\omega\tau} \frac{d\omega}{2\pi} = B(\tau), \end{aligned} \quad (9)$$

где $B(\tau)$ – взаимно-корреляционная функция (ВКФ) между излучаемым $u_T(t)$ и принимаемым $u_R(t)$ сигналами.

Формула (9) устанавливает следующую необходимую для практики связь:

$$\int_{\tau}^{\tau+T} u_R(\hat{t}) \cdot \hat{u}_T^*(\hat{t} - \tau) dt = \sqrt{\frac{\pi P}{\dot{\omega}}} \cdot B(\tau). \quad (10)$$

С другой стороны,

$$\begin{aligned} B(\tau) &= \sqrt{\frac{\dot{\omega}}{\pi P}} U_{RT}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} H(\omega) \cdot U_T(\omega) \cdot U_T^*(\omega) \cdot e^{j\omega\tau} \frac{d\omega}{2\pi} \approx \\ &\approx |U_T(\bar{\omega})|^2 \int_{-\infty}^{+\infty} H(\omega) \cdot e^{j\omega\tau} \frac{d\omega}{2\pi} = |U_T(\bar{\omega})|^2 h(\tau). \end{aligned} \quad (11)$$

Отсюда корреляционный интеграл пропорционален ИХ радиоканала:

$$U_{RT}(\tau) = \sqrt{\frac{\pi P}{\dot{\omega}}} |U_T(\bar{\omega})|^2 h(\tau) = k_{RT} h(\tau). \quad (12)$$

Принцип работы пассивного ЛЧМ ионозонда. При пассивном зондировании используются сигналы стандартных ЛЧМ ионозондов. Отличительная особенность метода заключается в том, что прием такого сигнала осуществляется на связной приемник с полосой 3 кГц и переключающейся по линейному закону рабочей частотой. Для обработки используется персональный компьютер. Синхронная работа приемного терминала пассивного зонда обеспечивается привязкой к точному времени, шкалу которого задают спутниковые навигационные системы ГЛОНАСС и GPS.

Внешний вид приемного терминала пассивного ионозонда, реализованного на связном приемнике Icom-78, представлен на рисунке 4.

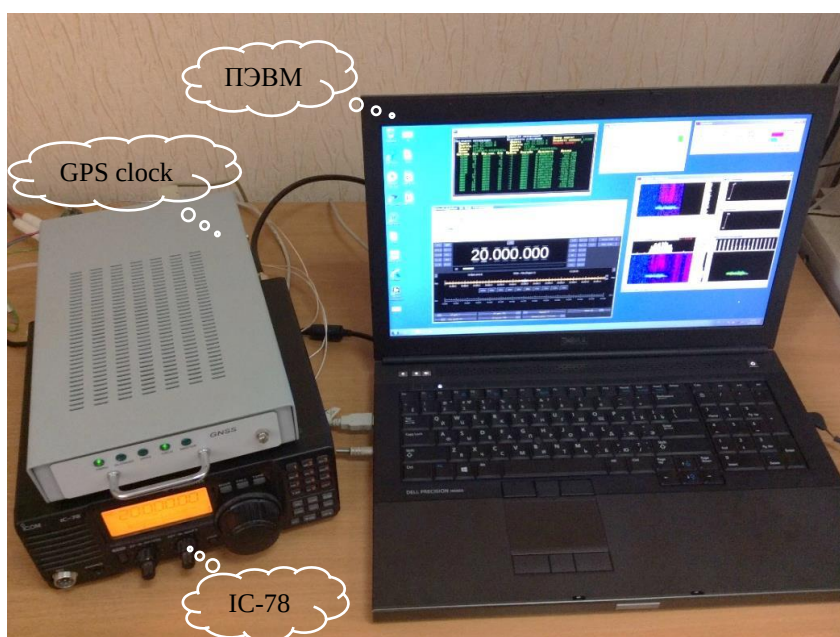


Рисунок 4 – Приемный терминал пассивного ионозонда

Зондирующий сигнал на выходе приемника с учетом переноса его начальной частоты в нуль, а спектра на полосу $-0-3$ кГц можно представить в виде:

$$u_R^{out}(\bar{\omega}_i, \hat{t}) = \begin{cases} \sqrt{2P} \cdot H_0(\bar{\omega}_i) \cdot \cos \frac{\dot{\omega}}{2} (\tilde{t} - \tau_g(\bar{\omega}_i))^2 & \forall \tilde{t} \in [0, T] \\ 0 & \forall \tilde{t} \notin [0, T] \end{cases}, \quad (13)$$

где $t_{i1} = \frac{\bar{\omega}_i}{\dot{\omega}}$ и $\Omega = \dot{\omega}\hat{t} - \bar{\omega}_i = \dot{\omega}(\hat{t} - t_{i1})$ – низкая разностная частота, $\tilde{t} = \hat{t} - t_{i1}$ – время, отсчитываемое от t_{i1} .

Схема корреляционной обработки низкочастотного ЛЧМ сигнала представлена на рисунке 5. Здесь он поступает на два умножителя. В первом – сигнал умножается на отсчеты функций $\cos \left[\frac{\dot{\omega}(\tilde{t} - \tau)^2}{2} \right]$, а во втором – на $\sin \left[\frac{\dot{\omega}(\tilde{t} - \tau)^2}{2} \right]$, где τ – изменяемая с шагом $1/F_S$ задержка. Для каждого значения задержки τ отсчеты сигнала суммиру-

ются (интегрируются) за время $T = 30$ мс. При этом получается отсчет функции $I(\tau(q))$, а по ней – $I^2(\tau(q))$ (q – номер отсчета). Диапазон анализируемых задержек составляет 150 мс, что позволяет зондировать трассы протяженностью до кругосветных. Однако, как правило, отображаются диапазон задержек 0-40 мс.

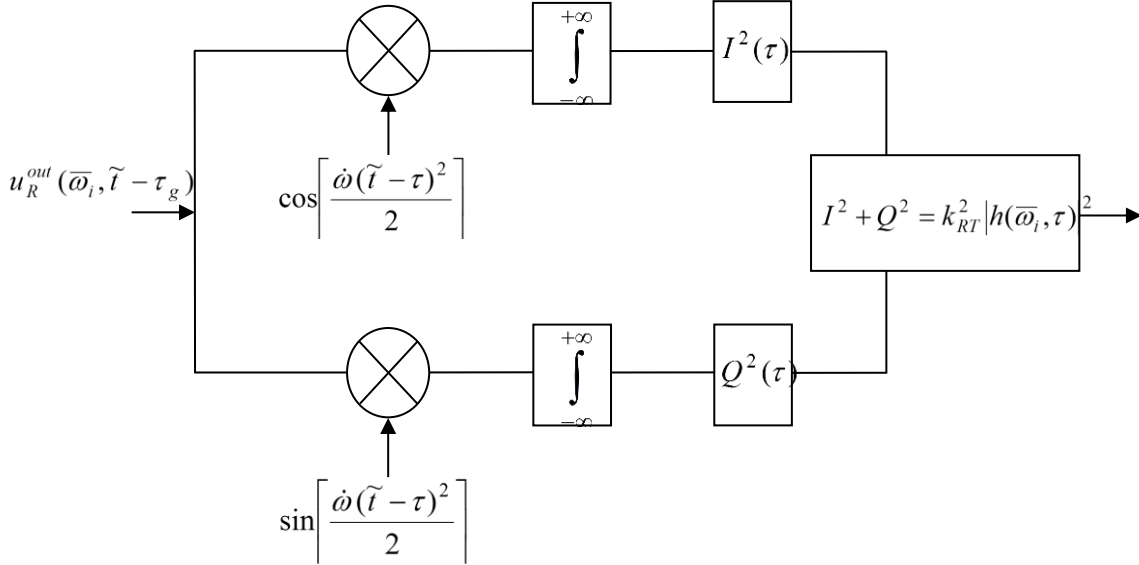


Рисунок 5 – Алгоритм согласованной обработки низкочастотного зондирующего сигнала

Интегрирование ведется по времени $\tilde{t}$, а результат является функцией задержки τ . Запишем выражение для составляющих сигнала на входе интегратора:

$$\begin{aligned} & \int_{-\infty}^{\infty} \left[u_R^{out}(\bar{\omega}_p, \tilde{t} - \tau_g) \cos \left[\frac{\dot{\omega}(\tilde{t} - \tau)^2}{2} \right] + j u_R^{out}(\bar{\omega}_p, \tilde{t} - \tau_g) \sin \left[\frac{\dot{\omega}(\tilde{t} - \tau)^2}{2} \right] \right] d\tilde{t} = \\ & = \int_{-\infty}^{+\infty} u_R(\bar{\omega}_p, \tilde{t} - \tau_g) \cdot e^{j\tilde{\varphi}(\tilde{t})} d\tilde{t}, \end{aligned} \quad (14)$$

где $\tilde{\varphi}(\tilde{t}) = \frac{\dot{\omega}(\tilde{t} - \tau_g(i))^2}{2}$.

Представим действительный сигнал в виде суммы комплексных, применив формулу Эйлера:

$$u_R^{out}(\bar{\omega}_i, \tilde{t} - \tau_g) = \begin{cases} \frac{\sqrt{2P}}{2} \cdot H_0(\bar{\omega}_i) \cdot [e^{j\varphi(\tilde{t})} + e^{-j\varphi(\tilde{t})}] & \tilde{t} \in [\tau_g, \tau_g + T] \\ 0 & \tilde{t} \notin [\tau_g, \tau_g + T] \end{cases}, \quad (15)$$

где $\varphi(\tilde{t}) = \frac{\dot{\omega}(\tilde{t} - \tau_g(i))^2}{2}$.

Далее преобразуем выражение (15):

$$\int_{-\infty}^{\infty} u_R(\bar{\omega}_p, \tilde{t} - \tau_g) \cdot e^{j\tilde{\varphi}(\tilde{t})} d\tilde{t} \approx \frac{\sqrt{2P}}{2} \cdot H_0(\bar{\omega}) \cdot \int_{\tau}^{\tau+T} \left[e^{j(\tilde{\varphi}(\tilde{t}) + \varphi(\bar{\omega}_p, \tilde{t}))} + e^{j(\tilde{\varphi}(\tilde{t}) - \varphi(\bar{\omega}_p, \tilde{t}))} \right] d\tilde{t}. \quad (16)$$

Интегрирование эквивалентно фильтрации сигнала ФНЧ с полосой частот $2/T = 66.6$ Гц. Первое слагаемое в подынтегральном выражении (16) является быст-

роосциллирующей функцией и фильтруется при интегрировании. Второе слагаемое является комплексной амплитудой сжатого сигнала:

$$U_{RT} = I + j \cdot Q = \frac{\sqrt{2P}}{2} \cdot H_0(\bar{\omega}_i) \cdot \int_{\tau}^{\tau+T} e^{j(\tilde{\varphi}(\tilde{t}) - \varphi(\bar{\omega}_i, \tilde{t}))} d\tilde{t}, \quad (17)$$

$$\text{где } \tilde{\varphi}(\tilde{t}) - \varphi(\bar{\omega}_i) = \frac{\dot{\omega}(\tilde{t} - \tau)^2}{2} - \frac{\dot{\omega}(\tilde{t} - \tau_{gi})^2}{2} \approx -\dot{\omega} \tilde{t} (\tau - \tau_{gi}).$$

Интегрируя в (17) и возводя результат в квадрат, получим

$$|U_{RT}(\bar{\omega}_i, \tau)|^2 = I^2 + Q^2 = k_{RT}^2 |h(\bar{\omega}_i, \tau)|^2 = 2PT^2 \cdot H_0^2(\bar{\omega}_i) \cdot \text{sinc}^2\left(\frac{T\dot{\omega}(\tau - \tau_{gi})}{2}\right). \quad (18)$$

По результатам цифровой согласованной обработки сигнала со входа приемника формируется ионограмма или изображение упорядоченного по средним частотам $\bar{\omega}_i$ профиля задержки – мощности (ПЗМ) каналов. Это матрица размером $M \times N$.

При этом $N = (f_k - f_n)/B_c$, где $f_k - f_n$ – диапазон зондирования; $M = \Delta\tau \cdot F_s$, где $\Delta\tau$ – диапазон анализируемых задержек сигнала, F_s – частота дискретизации сигнала. Каждый элемент этой матрицы содержит уровень мощности сигнала. При отображении ионограммы по горизонтали откладывается частота зондирования, по вертикали – время группового запаздывания.

Таким образом, ионограмму можно представить в виде растрового изображения. В этом случае мощность сигнала обозначается в зависимости от уровня соответствующим цветом из определенной цветовой шкалы (см. рис. 6а).

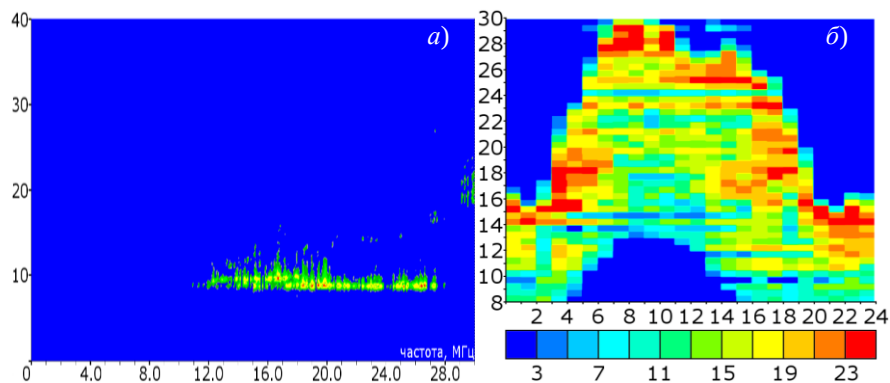


Рисунок 6 – Ионограмма трассы Кипр – Йошкар-Ола (а) и суточный ход частотной зависимости отношения сигнал-шум (б)

ПЗМ при цифровой обработке представляет собой упорядоченное по быстрому времени множество отсчетов (пикселей). Некоторые из них содержат только шум, а другие сигнал + шум. Применение пороговых методов позволяет из них выделить отсчеты шума и оценить среднюю на времени зондирования его мощность N . Максимальное значение для отсчетов сигнала используется для оценки импульсной мощности сжатого зондирующего сигнала. Отношение этих двух значений дает оценку мгновенного отношения сигнал-шум.

Для более устойчивой оценки отношения требуется его усреднение. При усреднении предполагается эргодичность процесса и слабые изменения параметров рассеяния на близких рабочих частотах. В нашем случае усреднение осуществляется по полосе 500 кГц. Оценка по усредненным в полосах 500 кГц отношений сигнал-шум позволяет построить суточный ход их частотных зависимостей (рис. 6б).

Отношение сигнал-шум дает возможность сделать оценку мощности связанного передатчика при условии равного отношения SNR на выходе приемника для связи и зондирования. Разница в значениях мощностей связана со сжатием по быстрому времени зондирующего сигнала.

Примем во внимание то, что при согласованной обработке мощность шума не меняется из-за отсутствия корреляции между сигналом и шумом. Пусть при связи $SNR|_c = P \cdot P_c / N$, а при зондировании $SNR|_s = D \cdot P \cdot P_s / N$ (где P – потери при распространении). Тогда при условии равенства отношений SNR для двух систем получим:

$$P_c = D \cdot P_s, \quad (19)$$

где $D = B_s \cdot T_s$ – база зондирующего сигнала; T_s – его длительность на входе коррелятора.

В нашем случае база зондирующего сигнала равна 73 (приблизленно 70), т.к. его полоса составляет 2,7 кГц, а длительность при скорости изменения частоты 100 кГц/с равна 27 мс. Формула (19) позволяет пересчитывать результаты зондирования на систему связи.

Рассеяние по быстрому времени оценивается нами на основе среднего ПЗМ по уровню -3 дБ. Отметим, что метод пассивного зондирования не позволяет определять доплеровское рассеяние. Используемые нами оценки доплеровского рассеяния основаны на анализе работ А. J. Stocker, Е. М. Warrington и D. R. Siddle из University of Leicester (UK) [13, 14], где представлены данные о параметрах рассеяния в частотной и временной областях, полученные за период 2002-2003 гг. и 2009-2012 гг. на транс-полярных и среднеширотных радиотрассах (рис. 7).

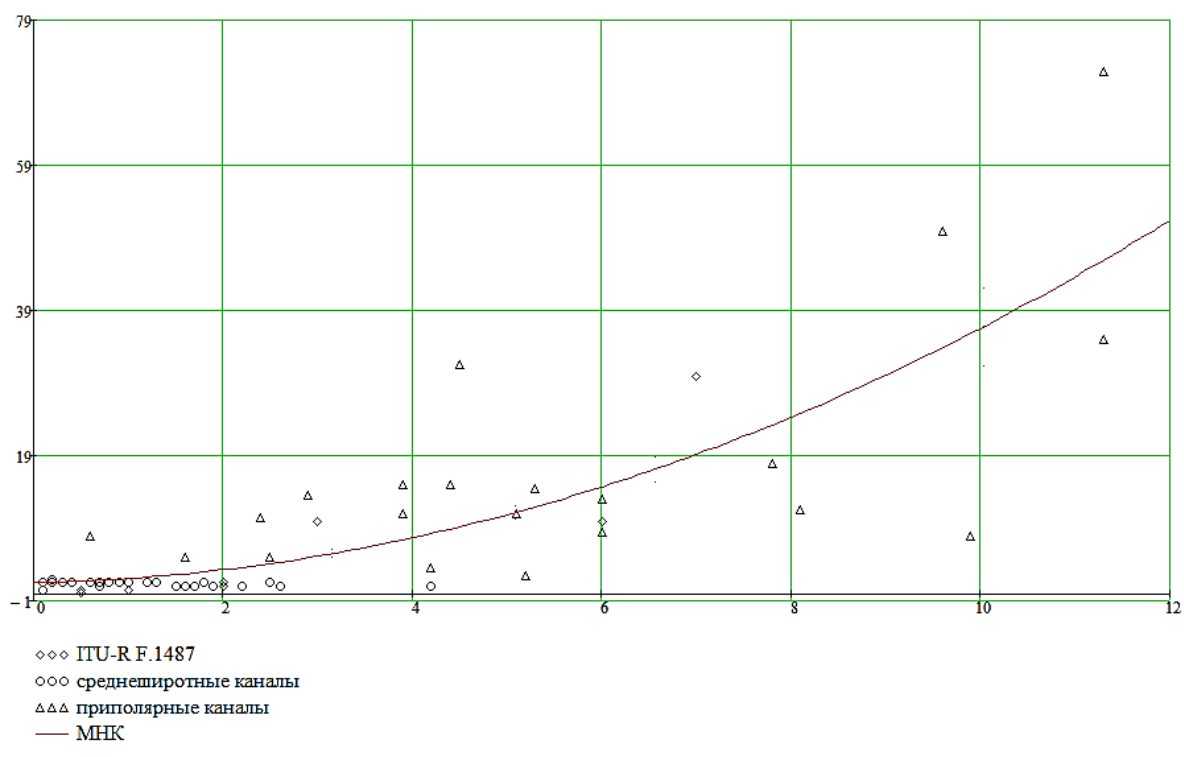


Рисунок 7 – Корреляционное поле для оценки зависимости рассеяния по частоте σ_{F_d} от рассеяния по задержке σ_τ

Проведенный корреляционный анализ поля показал достаточно высокий коэффициент корреляции $R(\sigma_\tau, \sigma_{F_d}) = 0.79$ между изменениями параметров рассеяния. Поэтому была высказана гипотеза существования регрессионной связи между ними по параболическому закону, а методом наименьших квадратов получено ее уравнение:

$$\sigma_{F_d} [Гц] = f(\sigma_\tau) = K_0 + K_1 \cdot \sigma_\tau [мс] + K_2 \cdot \sigma_\tau^2 [мс^2], \quad (20)$$

где $K_0 = 1.55 [Гц]$, $K_1 = 0.24 [Гц/мс]$, $K_2 = 0.33 [Гц/мс^2]$.

Производительность модемов. Производительность модемов КВ связи оценивается в виде процентной величины времени, в течение которой модем удовлетворительно передает данные [15]. Для количественного определения производительности необходим длительный ряд натурных экспериментов. В этих экспериментах широко используется многоканальная система доплеровского зондирования (DAMSON). Подробное ее описание можно найти в [4].

Характеристические функции модемов (ХФМ) являются наглядным способом представления производительности КВ модемов. ХФМ определяет необходимый уровень отношения сигнал-шум (SNR), который позволяет достичь желаемого коэффициента ошибок на бит (BER), для каждой комбинации рассеяния по задержке и доплеровского рассеяния [16]. Упомянем, что рассеяние по задержке определяется эффективным многолучевым рассеянием, а доплеровское рассеяние определяется комбинированным доплеровским рассеянием. ХФМ модема впервые были введены в работах Р. С. Arthur и М. J. Maundrell [17].

Производительность модема оценивается проекцией каждого измерения характеристик канала (ФПК) на ХФМ, чтобы определить разницу между измеренным SNR и SNR ХФМ (разность SNR). Положительная разность, SNR указывает на то, что канал будет поддерживать заданный уровень BER [15]. В работе [15] показывается, что эта методика определения производительности модемов находится в хорошем согласии с натурными экспериментами.

ХФП показывает область, в которой связь может быть установлена для любого отношения SNR, область, в которой не обеспечивается надежная связь при любом SNR, и переход между этими областями. Граница перехода резкая в направлении многолучевого рассеяния и пологая в направлении доплеровского рассеяния [16].

Аппроксимация ХФМ используется для упрощения анализа. Рисунок 8 показывает реальную ХФМ и ее аппроксимацию [16].

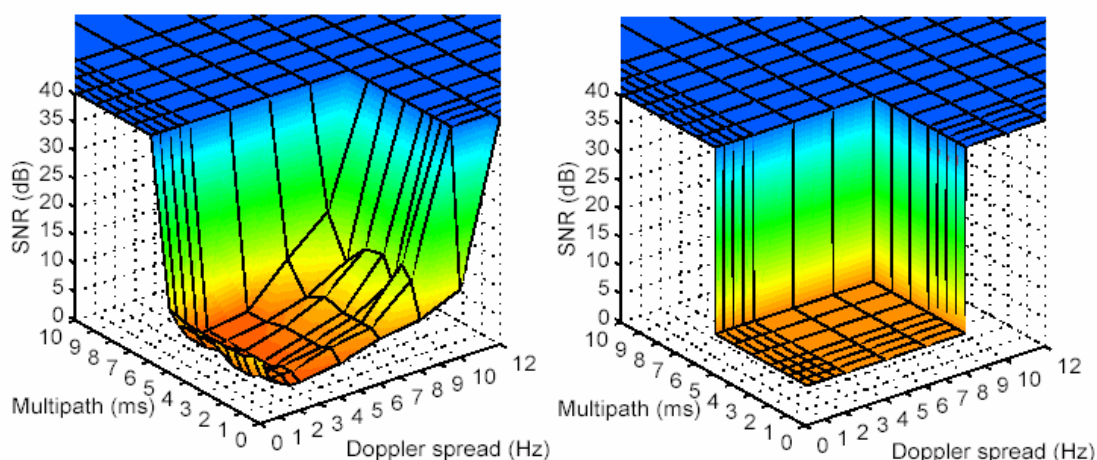


Рисунок 8 – Реальная ХФМ 8-PSK последовательного модема на скорости 1200 бит (ITU, 2000) и ее аппроксимация [16]

Данные таблицы 2 показывают приблизительные требования к SNR, доплеровскому рассеянию и рассеянию по задержке для различных скоростей передачи данных, взятых с ХФП модемов в STANAG 4285 [18, 13, 14], STANAG 4539 [16, 18, 13, 14] и MIL-STD-188-110B [18, 13, 14].

Таблица 2

Приблизительные величины SNR, доплеровского рассеяния и рассеяния по задержке при использовании модемов

Скорость передачи информации, бод	Отношение сигнал/шум, дБ	Доплеровское рассеяние, Гц	Рассеяние по задержке, мс
2400	>14	<4	<5
1200	>7	<8	<5
600	>3	<12	<5
300	>0	<16	<5
150	>-3	<10	<5
75	>-7	<40	<16

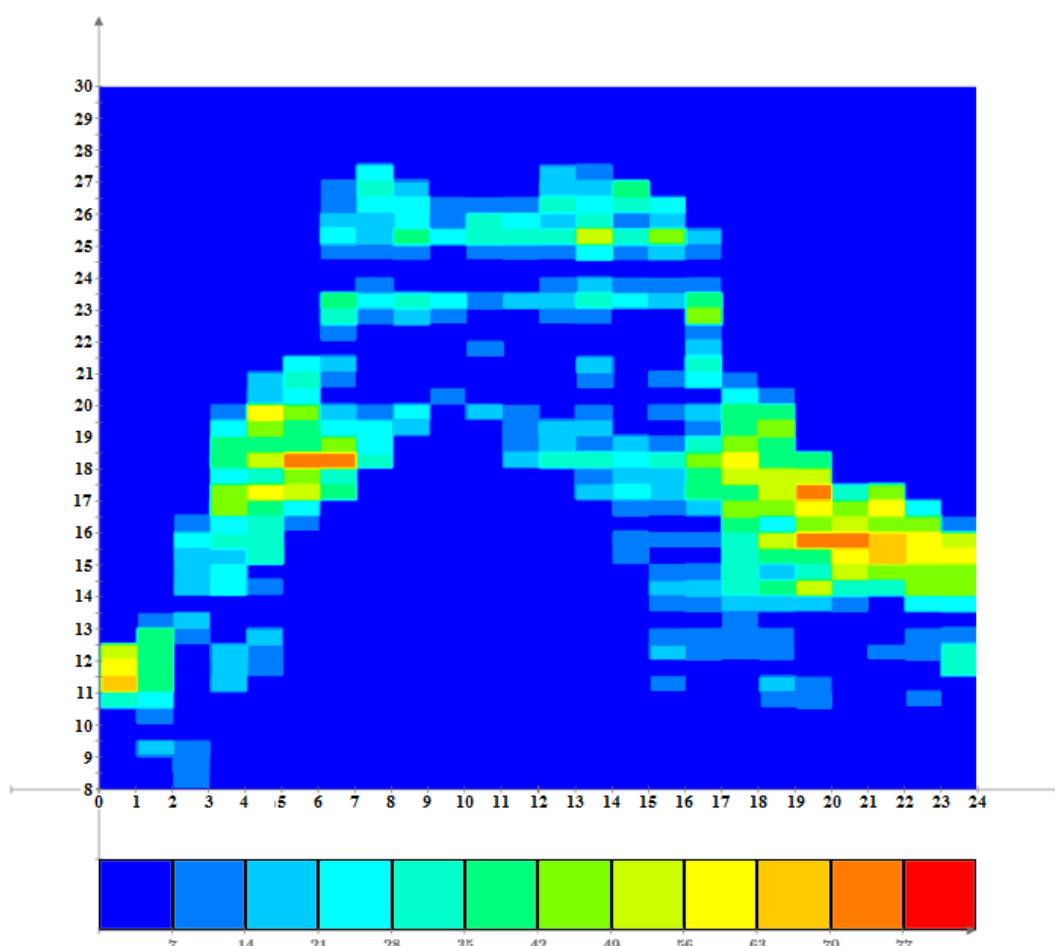


Рисунок 9 – Процент доступности радиоканалов для системы связи мощностью 100 Вт и скоростью передачи 2400 бод на трассе Куйб–Йошкар-Ола

Таким образом, используя развитые в работе алгоритмы и данные пассивного ЛЧМ ионизонда, такие как измеренные SNR, σ_τ и оцененное σ_{F_d} , можно делать оценки доступности КВ радиоканалов при использовании различных модемов.

$$A(f, h, d) = \begin{cases} 1, & \text{если } SNR(f, h, d) > SNR_0 \\ 1, & \text{если } \sigma_{\tau(f, h, d)} < \sigma_{\tau_0} \\ 1, & \text{если } \sigma_{F_d(f, h, d)} < \sigma_{F_{d0}} \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases} \quad (21)$$

На рисунке 9 показан вычисленный процент доступности радиоканалов для системы связи мощностью 100 Вт и скоростью передачи 2400 бод на трассе Кипр–Йошкар-Ола.

Выводы. Проведенные исследования задачи повышения эффективности систем КВ связи показали, что применение предсеансового пассивного зондирования радиоканала позволяет существенно повысить эффективность системы связи путем выбора каналов с максимальным процентом доступности. Пассивный ионозонд не требует создания специальной приемной аппаратуры и обходится стандартными приемниками связи. Для приема можно использовать непрерывные ЛЧМ сигналы активных сетевых ионозондов.

Работа выполнена при поддержке грантов министерства образования и науки РФ: № 8.2817.2017/ПЧ, № 3.4074.2017/ПЧ и гранта РНФ № 15-19-10053.

Список литературы

1. Budden K. G. The Propagation of Radio Waves, the Theory of Radio Waves of Low Power in the Ionosphere and Magnetosphere. Cambridge University Press, 1985.
2. Брюнелли Б. Е., Намгаладзе А. А. Физика ионосферы. М.: Наука, 1988. 528 с.
3. Budden K. G. Radio Waves in the Ionosphere. Cambridge University Press. 1961.
4. Paul S. Cannon, Matthew J. Angling, Nigel J. Davies. 21st Century Military Communications Conference Proceedings // DAMSON HF Channel Characterisation - A review. Vol. I, Session 2. P. 59-64.
5. Иванов В. А. Радиомониторинг нижней ионосферы Земли: монография. Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2010. 184 с.
6. Крюковский А. С., Лукин Д. С., Растягаев Д. В. Исследование особенностей распространения коротких радиоволн в неоднородной анизотропной ионосфере // Электромагнитные волны и электронные системы. 2009. Т. 14, № 8. С. 17-26.
7. Pedersen mode ducting in a randomly stratified ionosphere / L. M. Erukhimov, V. P. Uryadov, Yu. N. Cherkashin, V. A. Eremenko, V. A. Ivanov, N. V. Ryabova, V. V. Shumaev // Waves in Random Media. 1997. Vol. 7, No. 4. P. 531-544.
8. ЛЧМ ионозонд и его применение в ионосферных исследованиях (обзор) / В. А. Иванов, В. И. Куркин, В. Е. Носов и др. // Радиофизика. 2003. Т. 34, № 11. С. 919–952.
9. Иванов В. А., Иванов Д. В., Рябова М. И. Исследование факторов, приводящих к искажению высокочастотных сигналов с расширенным спектром при их квазизенитном распространении в ионосфере // Электромагнитные волны и электронные системы. 2011. Т. 16, № 8. С. 33-39.
10. Исследования коррекции дисперсионных искажений, возникающих в ионосферных радиоканалах с полосой 1 МГц / Д. В. Иванов, В. А. Иванов, М. И. Рябова, А. Р. Лашевский // Электромагнитные волны и электронные системы. 2008. Т. 13, № 8. С. 58-66.
11. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы. Теория и применение. М.: Советское Радио, 1971. 567 с.
12. Современные методы исследования динамических процессов в ионосфере / Н. Д. Филипп, Н. Ш. Блаунштейн, Л. М. Ерухимов и др. Кишинев: Штиинца, 1991. 287 с.

13. Warrington E. M., Stocker A. J. Measurements of the Doppler and multipath spread of HF signals received over a path oriented along the midlatitude trough // RADIO SCIENCE. 2003. Vol. 38, No. 5. P. 1-12.
14. Stocker A. J., Warrington E. M., Siddle D. R. Observations of Doppler and delay spreads on HF signals received over polar cap and trough paths at various stages of the solar cycle // RADIO SCIENCE. 2013. Vol. 48. P. 638–645.
15. Cannon Paul S., Angling Matthew J., Lundborg Bengt. Characterization and Modeling of the HF Communications Channel // Review of Radio Science: 1999-2002. August 2002. Chapter 27. P. 597-623.
16. Otnes R. Improved Receivers for Digital High Frequency Communications: Iterative Channel Estimation, Equalization, and Decoding (Adaptive Turbo Equalization): a Dissertation Submitted In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doktor Ingenior / Department of Telecommunications Faculty of Information Technology, Mathematics and Electrical Engineering Norwegian University of Science and Technology. 2002.
17. Arthur P. C., Maundrell M. J. Multi-dimensional HF modem performance characterization // IEE 7th Int. Conf. on HF Radio Systems and Techniques: Conf. Publ. 1997. No. 411. P. 154-158.
18. Brown D. J. Link maintenance and channel evaluation techniques for HF radiocommunication links: PhD thesis. University of Leicester, 2001.

PASSIVE SOUNDING OF A MULTIDIMENSIONAL IONOSPHERIC HF RADIO CHANNEL

Belgibaev Ruslan Rashidovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The problem of increasing the transmission efficiency of information on the ionospheric HF radio channel in the case of its passive sounding is investigated. The main parameters of a stochastic channel with scattering (scattering in the time and frequency domains, and the signal-to-noise ratio) and the communication modem, affecting the efficiency of the communication system are presented. Algorithms for estimating the channel parameters for passive sounding and algorithms for estimating the availability of the HF radio channel for adapting the communication system to the channel state are developed.

Keywords: short waves, passive sounder, ionosphere, multidimensional HF radio channel, correlation integral, delay spread, Doppler spread, channel availability.

УДК 621.396.24

ФКМ ИОНОЗОНД ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ

Елсуков Алексей Александрович

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
ElsukovAA@volgatech.net

Решена задача создания на основе SDR технологии на платформе USRP однопозиционного вертикального ионозонда с фазокодированным (ФКМ). Исследованы факторы, ограничивающие временные и частотные параметры сигнала. Представлены алгоритмы обработки сигнала, направленные на повышение отношения сигнал/шум, в том числе фильтрации аддитивных сосредоточенных помех. Получены экспериментальные ионограммы и функции рассеяния радиоканала при вертикальном зондировании над Йошкар-Олой ионосферы ФКМ сигналами.

Ключевые слова: ионосфера, однопозиционное зондирование, ФКМ сигнал, SDR, USRP.

Введение. Информация о состоянии ионосферы как среды распространения радиосигналов для различных радиотехнических систем позволяет выбрать оптимальный рабочий радиоканал.

Одним из основных инструментов, используемых для оценки состояния ионосферы, является вертикальный ионозонд. По результатам зондирования можно получить информацию о полосе прозрачности радиоканала, отношении сигнал/шум, рассеянии по задержке и по доплеровскому смещению частоты [1]. Поэтому усовершенствование конструкции ионозонда, направленное на повышение таких характеристик, как размеры и масса устройства, унификация конструкции в целях совмещения различных систем (например, системы связи и частотного обеспечения) является важной задачей.

Значительных успехов в этом направлении удалось добиться за счет использования в ионозондах перспективной технологии программно-определяемого (конфигурируемого) радио (SDR – Software-Defined Radio), которая позволяет реализовывать программными средствами устройства, выполняющие различные функции (системы связи, зондирования, локации и т.п.). Таким образом, эта технология открывает возможности для создания на одной аппаратной платформе радиосистем различного назначения (связи, локации, зондирования).

Развитию данного направления способствуют успехи в создании элементной базы: быстродействующих микросхем с аналого-цифровыми преобразователями, сигнальных процессоров, программируемых логических матриц и универсальных процессоров, применяющихся для выполнения операций с сигналом. В итоге появлялись универсальные платформы, которые обеспечивают преобразование цифровой сигнала в аналоговый и обратно, а также преобразование частот и фильтрацию для работы в заданном радиоканале (несущей частоте).

Синтез, модуляция и демодуляция и другие операции над сигналом производятся на персональном компьютере. Для этих целей можно использовать специализированные программные продукты (GNU Radio, Lab View, Mathlab), имеющие в своем составе набор стандартных программных модулей. Следует указать на одну из известных универсальных платформ USRP N210 компании Ettus Research. На данной платформе в настоящий момент в Поволжском государственном технологическом университете созданы наклонный [2] и вертикальный [3] ионозонды с применением сигнала с линейно-частотной модуляцией (FMCW и FMICW).

Следующим направлением исследований было создание на данной платформе вертикального ФКМ ионозонда, обладающего своими особенностями.

Цель работы – создание на платформе USRP вертикального ионозонда со сложным ФКМ сигналом и его экспериментальная апробация.

Особенности энергетической емкости зондирующего сигнала

Помехозащищенность зонда определяется энергией сигнала, т.к. вероятность выделения импульсного сигнала на фоне шумов определяется отношением сигнал/шум, которое на выходе оптимального приемника достигает максимума и может быть оценено с использованием формулы

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{вых}} = \frac{2E}{n_0} = 2D \cdot \left(\frac{S}{N}\right)_{\text{вх}}, \quad (1)$$

где $D = B \cdot T_a \cdot K$ – база периодического сигнала; B – полоса частот спектра сигнала; T_a – период анализа сигнала; K – коэффициент заполнения.

При вертикальном зондировании полоса когерентности канала не превышает 30 кГц [4-9]. Поэтому $B < 30$ кГц. Требование работы на одну антенну приводит к

необходимости разносить излучение и прием по времени. Кроме того, широкий диапазон высот отражения (~90-1000 км) и соответственно задержки (0,6-6,6 мс) ограничивает коэффициент заполнения импульсного сигнала $K \sim 0.1$, т.е. 10% времени тратится на передачу, остальное – на приём. Данные частотные и временные ограничения следует учитывать при использовании сигнала с прямым расширением спектра методом фазовой манипуляции кодовой последовательностью.

Таким образом, длительность элемента последовательности (чипа) не должна быть больше 33,3 мкс, чтобы не превышать полосу когерентности, а количество элементов последовательности не должно быть больше $L \leq 18$, чтобы не превышать минимальную задержку эхо-сигнала. Кроме того, кодовая последовательность должна обладать хорошими автокорреляционными свойствами, т.е. автокорреляционная функция (АКФ) должна иметь максимальное значение центрального пика и минимальное значение боковых лепестков. Увеличение амплитуды сигнала при корреляционной обработке (сжатии) соответствует количеству чипов последовательности L .

Помимо корреляционной обработки для ФКМ сигнала можно использовать когерентное накопление нескольких десятков последовательных импульсов, соответственно увеличивая период анализа сигнала в несколько раз. При этом используется спектральное (Фурье) накопление. В основе метода лежит побочное свойство преобразования Фурье, которое позволяет обеспечивать когерентное сложение сигналов при постоянной скорости изменения фазы в течение нескольких секунд.

Суть метода заключается в последовательном излучении нескольких ФКМ импульсов на одной несущей частоте и объединении полученных последовательно профилей задержки мощности (ПЗМ) для каждого импульса в матрицу (рис. 1).

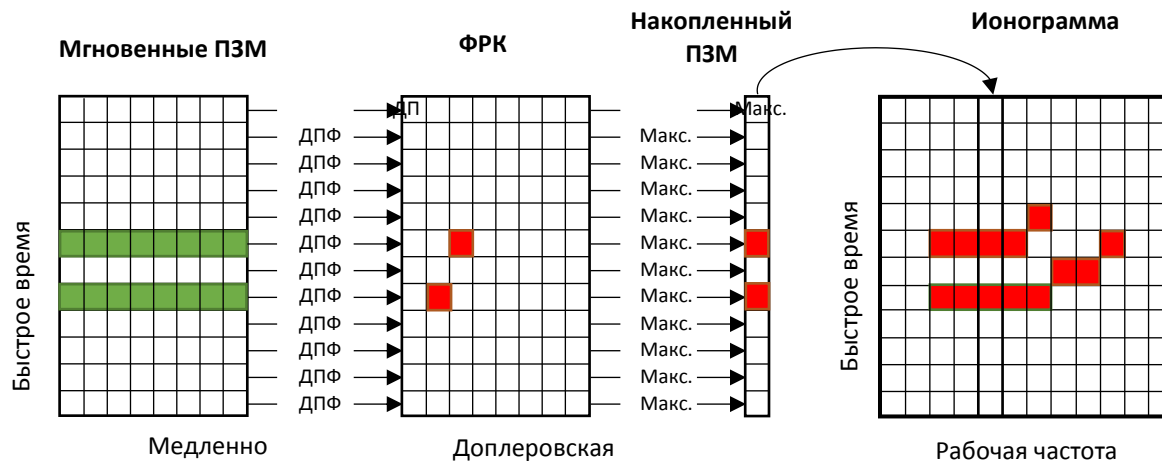


Рисунок 1 – Когерентное накопление импульсов

Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) выполняется по строкам. В результате имеем доплеровский спектр. Этот спектр при определенной длине строки позволяет оценивать скорость смещения уровня отражения в ионосфере по лучу, позволяя получить функцию рассеяния радиоканала (ФРК). При этом значение отсчетов сигнала увеличивается в N раз, а отсчетов шума – в $\sqrt{N}$ раз. Таким образом, выигрыш в отношении сигнал/шум составляет $\sqrt{N}$ раз по амплитуде и в N раз по мощности. Чтобы получить накопленный ПЗМ из ФРК, нужно выделить максимальное значение в каждой строке [10]. Несколько таких накопленных ПЗМ для разных рабочих частот образуют ионограмму.

ФКМ ионозонд ПГТУ на основе SDR технологий

ФКМ ионозонд реализован на универсальной приемопередающей платформе USRP N210 фирмы Ettus. Основу платформы составляют 14 бит АЦП, работающий на частоте 100 МГц, и 16 бит ЦАП, работающий на частоте 400 МГц. Диапазон доступных частот определяется установленной дочерней платой, на которой может быть реализовано аналоговое преобразование частоты, и может достигать 6 ГГц.

В нашем случае для работы в декаметровом диапазоне использовались дочерние платы LFTX и LFRX, на которых реализован только ФНЧ. Цифровой преобразователь вверх (DUC), цифровой преобразователь вниз (DDC), а также система управления и интерфейс связи с персональным компьютером реализованы на FPGA. Интерфейс связи с ПК основан на технологии Gigabit Ethernet и позволяет передавать отсчеты комплексной огибающей в 16-битном коде на скорости до 25 MS/s или в 8-битном коде на скорости до 50 MS/s, ограничивая таким образом доступную полосу канала 25 и 50 МГц соответственно. Структурная схема ФКМ ионозонда представлена на рисунке 2.

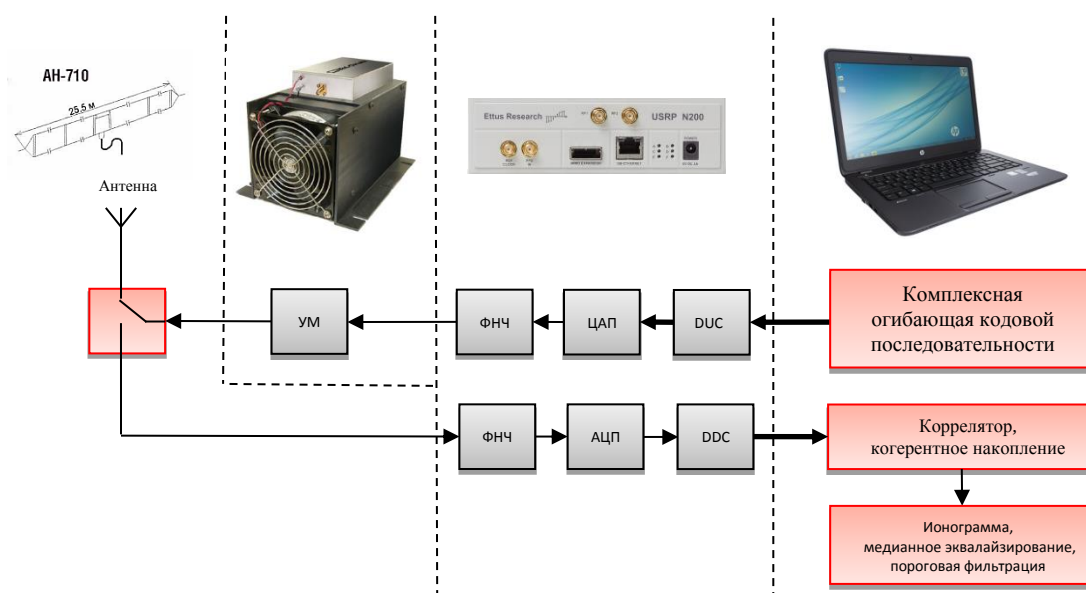


Рисунок 2 – Структурная схема ФКМ ионозонда на платформе USRP

Генерация комплексной огибающей соответствующей кодовой последовательности происходит на ПК [10]. Далее сигнал передается в USRP, где в блоке DUC перемножается с опорным высокочастотным сигналом. В результате получаем зондирующий сигнал на заданной частоте. Преобразованный в аналоговую форму (ЦАП) сигнал усиливается (УМ) и через переключатель поступает в антенну. Для усиления используется усилитель мощности LZY-22+. Для излучения и приема применяется широкополосный горизонтальный диполь с полосой рабочих частот 2...30 МГц, расположенный на крыше здания.

Принятый антенной сигнал, пройдя через переключатель, преобразуется в цифровую форму (АЦП). Далее перемножается с опорным высокочастотным сигналом в блоке DDC. Таким образом выделяется комплексная огибающая.

Переход от комплексных сигналов к вещественным и наоборот происходит перед цифроаналоговым преобразованием и после аналого-цифрового преобразования соответственно. Далее принятый сигнал поступает на ПК, где происходят корреляционная

обработка, когерентное накопление, построение ионограммы, медианное эквалайзирование и пороговая фильтрация [11]. Также с ПК посылаются команды конфигурации USRP.

Параметры зондирующего ФКМ сигнала:

тип последовательности – Код Баркера;
 количество элементов последовательности – 13;
 длительность элемента последовательности – 40 мкс;
 когерентное накопление – 4...8192;
 пиковая мощность передачи – 19 Вт;
 полоса сигнала – 25 кГц;
 период анализа сигнала – 0,02-41,94 с;
 коэффициент заполнения – 0,098;
 база сигнала – 49-102753;
 диапазон высот – 78-768 км;
 разрешение по высоте – 6 км

Анализ экспериментальных данных. Эксперименты были проведены на разработанном оборудовании в г. Йошкар-Оле. На рисунке 3 представлены мгновенные ПЗМ на рабочей частоте 5.8 МГц и полученная по ним ФРК.

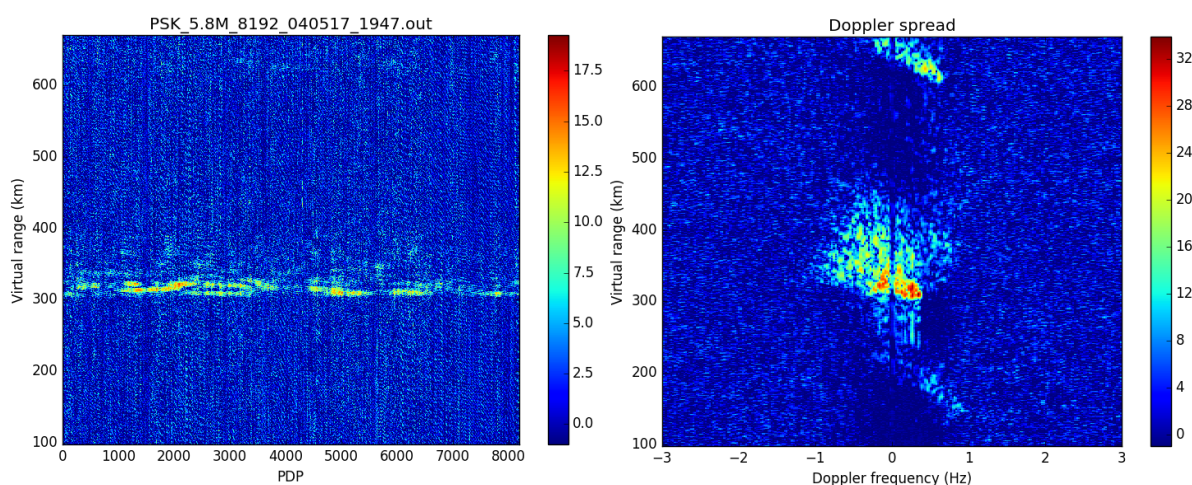


Рисунок 3 – Мгновенные ПЗМ на частоте 5.8 МГц, полученные при вертикальном зондировании ФКМ сигналом в г. Йошкар-Оле 04.05.2017 в 19:47 (слева), и построенная по ним ФРК (справа)

В данном случае использовалось накопление 8192 импульса, что соответствует периоду анализа 41,9 с. На рисунке видно, что за это время мощность эхо-сигнала от слоя F (310 км) значительно изменяется в пределах 18 дБ, но накопленный сигнал увеличился до 33 дБ. Также можно видеть значительное рассеяние по высоте отражения. На рисунке 4 представлены ионограммы ВЗ с различными параметрами накопления.

Обработка принимаемого сигнала предусматривает применение методов борьбы с сосредоточенными помехами. Для этого используется алгоритм медианного эквалайзирования [12]. Суть метода заключается в том, что все отсчеты ПЗМ делятся на медиану. В результате отсчеты ПЗМ, пораженные помехой, ослабляются до значения, близкого к 1.

Представленные результаты свидетельствуют о том, что применение маломощных (мощностью меньше 20 Вт) сигналов с расширенным спектром и оптимальных цифро-

вых методов обработки позволяет получать ионограммы ВЗ ионосферы приемлемого качества.

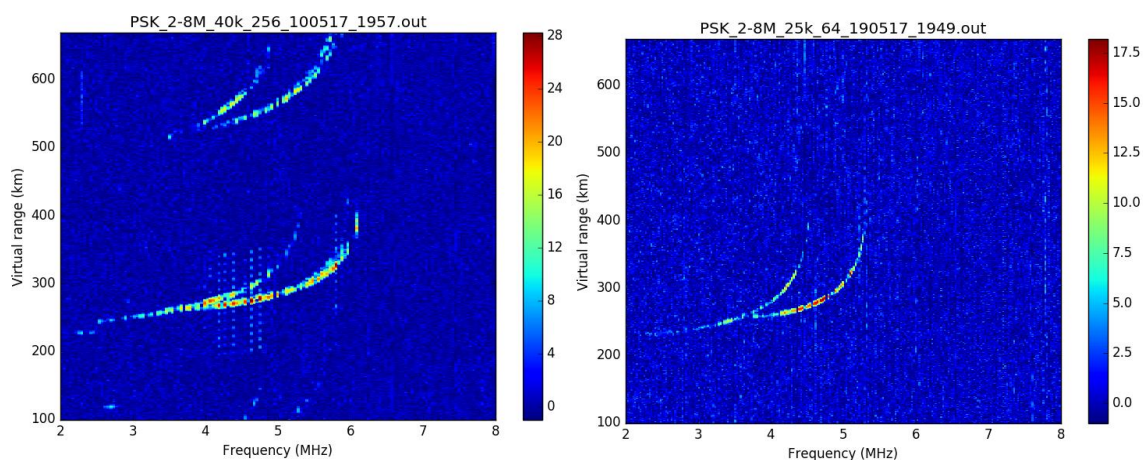


Рисунок 4 – Ионограммы ВЗ, полученные при вертикальном зондировании ФКМ сигналом в г. Йошкар-Оле: 10.05.2017 в 19:57 с шагом рабочей частоты 40 кГц и накоплением 256 (слева) и 19.05.2017 в 19:49 с шагом рабочей частоты 25 кГц и накоплением 64 (справа)

Выводы

Представлен созданный универсальный ионозонд, использующий современные полностью цифровые методы синтеза и обработки ФКМ сигнала. Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение SDR технологии и универсальной платформы открывает новые перспективы в зондировании ионосферы сигналами с расширенным спектром.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ: проекты № 15-07-05280; 15-07-05294, 16-37-60068, 16-35-50083; РНФ № 15-19-10053.

Список литературы

1. Аппаратура частотного обеспечения в адаптивной системе КВ радиосвязи / В. А. Иванов, Н. В. Рябова, В. П. Урядов, В. В. Шумаев // Электросвязь. 1995. № 11. С. 30-32.
2. Система частотного обеспечения каналов ВЧ связи на базе нового цифрового ионозонда на платформе USRP / Д. В. Иванов, В. А. Иванов, Н. В. Рябова, А. А. Елсуков, М. И. Рябова, А. А. Чернов // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2014. Т 4, № 4. С. 133-136.
3. Иванов Д. В., Иванов В. А., Елсуков А. А. Однопозиционный с одной антенной вертикальный ионозонд с непрерывным ЛЧМ сигналом на основе SDR технологии // Радиолокация, навигация, связь: XXI Международная научно-техническая конференция, Воронеж 14-16 апреля 2015 г. Воронеж, 2015. С. 1169-1176.
4. Исследование регулярной и стохастической дисперсии в ионосферных широкополосных высокочастотных радиоканалах / В. А. Иванов, Д. В. Иванов, Н. Н. Михеева, М. И. Рябова // Нелинейный мир. 2012. Т. 10, № 10. С. 678-686.
5. Иванов В. А., Иванов Д. В., Рябова М. И. Исследование факторов, приводящих к искажению высокочастотных сигналов с расширенным спектром при их квазизенитном распространении в ионосфере // Электромагнитные волны и электронные системы. 2011. Т. 16, № 8. С. 33-39.
6. Искажение сложных дециметровых радиосигналов в дисперсных ионосферных радиоканалах при квазизенитном распространении / В. А. Иванов, Д. В. Иванов, М. И. Рябова,

Н. А. Сорокин // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. № 1. С. 43-53.

7. Иванов В. А., Иванов Д. В., Колчев А. А. Коррекция широкополосных коротковолновых ионосферных радиоканалов // Радиотехника и электроника. 2003. Т. 48, № 6. С. 688-697.

8. Исследования коррекции дисперсионных искажений, возникающих в ионосферных радиоканалах с полосой 1 МГц / Д. В. Иванов, В. А. Иванов, М. И. Рябова, А. Р. Лащевский // Электромагнитные волны и электронные системы. 2008. Т. 13, № 8. С. 58-66.

9. Иванов Д. В. Искажения в ионосфере декаметровых сигналов с псевдослучайной рабочей частотой // Радиотехника и электроника. 2006. Т. 51, № 7. С. 807-815.

10. Иванов Д. В., Иванов В. А., Чернов А. А. Теоретические основы метода прямого цифрового синтеза радиосигналов для цифровых систем связи // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2012. № 1 (15). С. 3-34.

11. New Digisonde for research and monitoring applications / B. W. Reinisch, I. A. Galkin, G. M. Khmyrov, A. V. Kozlov, K. Bibl et al. // RADIO SCIENCE. 2009. Vol. 44.

12. Адаптивная фильтрация сосредоточенных помех при зондировании многомерного КВ-канала с помощью программно-аппаратного комплекса, созданного по технологии программно-конфигурируемого радио / Д. В. Иванов, В. А. Иванов, Н. В. Рябова, А. А. Елсуков, Е. В. Катков, М. И. Рябова, А. А. Чернов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 3. С. 6-17.

PSK IONOZOND FOR VERTICAL SOUNDING OF IONOSPHERE

Elsukov Alexey Alexandrovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

We study the problem of development SDR vertical single point ionosonde with phase-shift keying (PSK) using platform USRP. The factors limiting the energy of the sounding signal were studied. Algorithms for signal processing aimed at increasing the signal-to-noise ratio, including filtering of additive concentrated interference, are presented. Experimental ionograms and radio channel scattering functions were obtained for vertical probing ionosphere over the Ioshkar-Ola with PSK signals.

Keywords: the ionosphere, monostatic sounding, PSK signal, SDR, USRP.

УДК 638

ПРИБОР ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЕРЕБРЯНОЙ ВОДЫ «ЭРВИЙ 3»

*Лаврентьев Борис Федорович, Андрианов Юрий Семенович,
Винокуров Александр Иванович*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
Lavrentevbf@marstu.net

В статье описывается прибор для получения серебряной воды «Эрвий 3», разработанный сотрудниками Поволжского государственного технологического университета. Приводятся его технические характеристики, структурная схема, описание работы и особенности конструктивного исполнения.

Ключевые слова: серебряная вода, ионизация, прибор, счетчик количества электричества, концентрация ионов серебра, стабилизация тока, конструкция.

Бактерицидные свойства серебра и серебряной воды известны с древнейших времен. В XIX в. исследователями было доказано, что серебро действительно обладает дезинфицирующими свойствами и способно вызывать гибель различных микроорганизмов, в том числе стафилококка и дифтерийной палочки. Причем серебро оказалось гораздо более серьезным бактерицидным оружием, чем другие металлы. Это объясняется тем, что оно с большой скоростью способно проникать в клетку. При этом клетка остается жизнеспособной, но теряет способность к делению.

Сегодня серебряная вода используется очень широко. С помощью серебра консервируют питьевую воду для судов дальнего плавания. Серебряную воду пьют космонавты в период полетов. Ее используют при консервировании минеральных вод, соков, некоторых алкогольных напитков и даже молока. Кроме того, с ее помощью значительно продлевают срок хранения многих лекарственных форм – капель, микстур, настоев.

Серебро и, в частности, серебряная вода находят широкое применение в медицине и ветеринарии. Серебро – элемент, необходимый для нормальной деятельности желез внутренней секреции, мозга, печени и костной ткани. Оно оказывает омолаживающее воздействие на кровь и благотворно влияет на протекание всех физиологических процессов в организме. Врачи рекомендуют использовать серебряную воду для профилактики гриппа, ОРЗ, заболеваний желудочно-кишечного тракта, стоматитов, инфекционных заболеваний уха, горла, носа, цистита, воспаления глаз, трофических язв, а также при обработке ран и ожогов. Она дает хороший эффект при лечении бруцеллеза, бронхиальной астмы и ревматоидного артрита. При регулярном употреблении серебряной воды отмечается стимуляция кроветворных органов, увеличивается число лимфоцитов и моноцитов, эритроцитов и процент гемоглобина.

Так как серебряную воду рекомендуют пить как профилактическое и лечебное средство при различных заболеваниях и для общего оздоровления организма, надо иметь в виду, что эту воду можно пить только периодически и непродолжительное время! При постоянном употреблении ионы серебра будут накапливаться, создавая переизбыток серебра в организме, что приведёт к серьёзным нарушениям обмена веществ, депрессии, вялости и прочим отрицательным последствиям [1-5, 9].

Прибор для получения серебряной воды относится к электрохимическим производством, в частности, к приборам для получения «серебряной» воды для медицины и сельского хозяйства. Особенностью таких приборов является необходимость получения серебряной воды заданной концентрации. Однако получить необходимую концентрацию ионов серебра в воде очень сложно из-за нестабильности тока ионизации, величина которого зависит от многих внешних факторов, в частности от состава воды, температуры, расстояния между электродами, количества воды и т. д.

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.

В Поволжском государственном технологическом университете разработаны два прибора для получения серебряной воды «Эрвий 2» и «Эрвий 3», на которые получены патенты РФ [6-8].

Принцип работы первого прибора «Эрвий 2» основан на стабилизации тока ионизации стабилизатором на операционном усилителе и контроля концентрации серебра в воде по величине тока и времени ионизации. Специальная таблица режимов работы позволяет закладывать требуемую концентрацию по времени операции и величине

тока. Питание прибора производится от аккумулятора 12 В, 7, а.ч. Прибор обеспечивает более высокую точность концентрации серебра в воде и хорошие эксплуатационные характеристики.

Основные технические характеристики прибора «Эрвий 2»

Величина тока ионизации, мА 1-100

Время ионизации, мин 1-99

Концентрация серебра в воде, мг/л 0,1-50

Питание аккумулятор

Стоимость прибора при серийном производстве ориентировочно составит (без электродов) 2-3 тыс. р.

Принцип работы прибора «Эрвий 3» основан на стабилизации тока ионизации и контроля концентрации серебра в воде по количеству тока за время ионизации. Специальная таблица режимов работы позволяет закладывать требуемую концентрацию по времени операции и величине заданного количества электричества.

Питание прибора производится от сетевого источника питания. У данного прибора более высокая точность концентрации при приготовлении серебряной воды и одновременно он проще по схемной реализации.

Основные технические характеристики «Эрвий 3»

Величина тока ионизации, мА, ... 1-100

Концентрация серебра в воде, мг/л 0,1-500

Количество электричества 1-999

Питание сеть 220 В

Перед началом работы с помощью переключателей на передней панели прибора «Эрвий 3» устанавливается количество электричества, необходимое для получения заданной концентрации ионов серебра в воде, и ток, от величины которого зависит время операции. Отключение прибора происходит автоматически после выдачи прибором заданного количества электричества. Таким образом, величина тока ионизации влияет только на время работы и мало влияет на заданную точность концентрации ионов серебра в воде.

Приборы для получения серебряной воды конструктивно выполнены в виде литого корпуса из пластмассы, имеющего крышку и ящик, защиту от влаги и механических воздействий и ручку для переноски прибора. Внутри корпуса на внутренней стороне крышки располагается передняя панель прибора с органами управления, индикации, контроля и таблицей режимов работы. В ящике корпуса размещается источник питания, емкость для воды и ячейка.

Прибор для получения серебряной воды выполнен на высоком художественно – конструктивном уровне и предполагает применение современных материалов и прогрессивных технологических процессов. Здесь к минимуму сведено количество металлических деталей. Ликвидированы трудоемкие нетехнологические процессы, требующие кропотливой ручной работы. Ручки регулировки и кнопки заменены на более технологические – пластмассовые. Все это значительно снизит экономические затраты на изготовление и сборку прибора.



Общий вид прибора для хранения инструмента и расходных материалов «Эрвий 3»

Прибор для получения серебряной воды может быть реализован в условиях серийного производства с использованием имеющегося оборудования и технологического оснащения.

Список литературы

1. Артемова А. Серебро исцеляет и омолаживает. М.-СПб.: ДИЛЯ, 2002. С. 142.
2. Белеванцев В. И., Бондарчук И. В. Очерк свойств серебра и его соединений. Применение препаратов серебра в медицине. Новосибирск, 1994. С. 89-95.
3. Некоторые экспериментальные и клинические результаты применения катионов серебра в борьбе с лекарственно-устойчивыми микроорганизмами / В. Н. Иванов, Г. М. Ларионов, Н. И. Кулиш, М. А. Лутцева и др. // Серебро в медицине, биологии и технике / Сиб.отд. РАМН. 1995. № 4. С. 53-62.
4. Кульский Л. А. Серебряная вода. Киев, 1987.
5. Таранов Л. А. Серебряная вода. М.-СПб.: ДИЛЯ, 2002. С. 158.
6. Лаврентьев Б. Ф., Бусыгин Г. В., Бахраков Ю. А., Лабеева А. А. Прибор для получения серебряной воды: патент RU №143083 U1. Оpubл. 10.07.2014.
7. Лаврентьев Б. Ф., Федосеев В. И., Эмекин А. А. Прибор для получения серебряной воды: патент RU № 144849 U1. Оpubл. 10.09.2014.
8. Лаврентьев Б. Ф., Селедкин И., Залманов А. А. Прибор для получения серебряной воды. Заявка на промышленный образец: патент RU № 91553. Оpubл. 16.02.2015.
9. <http://100trav.ru/narodnye-sredstva-lecheniya-boleznej/serebryanaya-voda-v-domashnikh-usloviyakh.html>

DEVICE FOR WATER SREBRYANRY "ERVYI 3"

Lavrentiev Boris Fedorovich, Andrianov Yuriy Semenovich, Vinokurov Alexander Ivanovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The article describes a device for obtaining a silver water "Erviy 3" developed by the staff of the Volga State Technological University, provides specifications, schematic diagram and description of model features

Keywords: *silver water ionization device, a counter of electricity, the concentration of silver ions, the current stabilization, construction.*

УДК 621.865.8

ГОРОД, В КОТОРОМ Я ХОТЕЛ БЫ ЖИТЬ

Лаврентьев Борис Федорович

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

В статье приводится информация о том, каким должен быть современный город, в котором жители могли бы жить в мире, согласии, в соответствии со своими национальными традициями, могли бы работать, учиться и отдыхать, комфортно чувствуя себя в национальных парках, развлекательных центрах и на природе.

Ключевые слова: *город, архитектура, кукольный театр, сказочные роботы, внутреннее и внешнее управление, робототехнические конструкции, цветомузыкальные фонтаны.*

Введение. Современный город – это очень большое достижение человечества. Современный город имеет широкие улицы, чтобы множество машин могло свободно проезжать по ним. А еще – ровные тротуары, по которым не жалко ходить в самой красивой обуви. В современном городе должно быть большое количество различных парков, скверов, развлекательных и культурных центров, зоопарков, ботанических садов, цветомузыкальных фонтанов, памятников и скульптур, а еще – развитый общественный транспорт.

Современный город должен иметь свое лицо, свою национальную культуру, обычаи, свои культурные, учебные и развлекательные центры, свои неповторимые архитектурные объекты, в котором было бы комфортно жить, работать, учиться, отдыхать, растить детей.

Автору статьи посчастливилось в течение 15 лет принимать участие в многочисленных научных экспедициях по исследованию Мирового океана на научно-исследовательских судах АН СССР. Во время экспедиций удалось познакомиться с Данией, Грецией, Кубой, Панамой, Египтом, Йеменом, Сейшельскими островами, Индонезией, Сингапуром, Камбоджей, Вьетнамом, Китаем и рядом других стран. Кроме научных целей, значительный интерес представляли жизнь людей в этих странах, архитектура городов, отношение властей к жителям своей страны и особенно к детям, наличие и особенности культурных, развлекательных и оздоровительных учреждений.

В разных странах по-разному относятся к проблемам создания комфортных условий для своих граждан, включая условия работы, отдыха и развлечений. В Европе в этом отношении особенно интересна Греция с ее историческими памятниками, древними сооружениями, с неприступными монастырями на отвесных скалах, с ласковым теплым морем. Куба – хотя и бедная страна, но очень добрая, здесь прекрасный зоопарк, много интересных исторических мест. Главной заботой правительства являются современная медицина и дети, которым передали лучшие дворцы олигархов, бежавших из страны после революции. В Панаме много памятников по истории страны и одновременно большая пропасть между бедностью и богатством. Уникален Панамский канал между Атлантическим и Тихим океанами. Сейшельские острова – это жемчужина в Индийском океане с более чем сотней островов, с прекрасными пляжами и чудесной природой, но это в основном международный курорт для богатых и очень богатых людей. Интерес здесь представляют ботанический сад с вечноцветущими растениями и гигантские черепахи, на которых можно даже покататься, и коралловые рифы – сказочный мир Океана. Промышленность здесь не развивается, так как основной доход страны – это обслуживание туристов.

Исключением из всех стран является Сингапур, который привлекает миллионы туристов со всего мира. В стране большое количество памятников, парков, развлекательных и культурных центров, зон отдыха. Особенно поражают чистота и порядок в городе, отсутствие очередей, развитый общественный транспорт, забота о жителях и, конечно, забота о детях. Сингапур – это современный город, и многое из опыта его строительства можно было бы перенести в наши российские города, чтобы жители этих городов жили бы в мире, согласии в соответствии со своими национальными традициями, могли работать, учиться и отдыхать в национальных парках, проводить досуг в развлекательных центрах и т.д.

Целью настоящей работы является создание проекта современного города на примере столицы Марий Эл – Йошкар-Олы с учетом мирового опыта градостроения и национальных особенностей культуры.

В наше сложное время, с большим количеством проблем, многим людям хочется отказаться от реальностей в жизни и уйти в мир сказок, где нет подлости, чванства,

грубости, бедности; в мир, которым правит доброта, а не деньги, которые в наше время стали заложником справедливости и гуманности. Однако «сказка» должна окружать каждого человека всегда и везде. Что же видит житель нашего города, который раньше называли маленьким Ленинградом? А видит он новый город, где смешалась архитектура Запада и Востока, где почти нет национального колорита. Он видит красивый бульвар в центре города с серией неподвижных фонтанов. Они вносят элементы прохлады, но не меняют своей формы и не имеют цветомузыкального сопровождения. Он видит большое количество памятников на набережной Кокшаги, но они все неподвижные и не вызывают особого интереса у жителей, так как мы к ним привыкаем и теряем интерес. Он видит на месте прекрасного сквера сооружение, которое называли Кремлем, но Кремля здесь никогда не было. Мы приходим в театры и видим неподвижные картины на стенах театра, а праздничные мероприятия оживляют только артисты. В то же время, чтобы оживить окружающий мир, нужны динамические цветомузыкальные фонтаны, нужны робототехнические конструкции, нужна динамическая реклама. Известно, что движущиеся объекты больше привлекают внимание людей, чем неподвижные.

Использование электронных робототехнических конструкций, выполненных в виде сказочных и национальных героев, в сочетании с архитектурными и природными ландшафтами при использовании их в оздоровительных, культурных, лечебных и детских учреждениях позволяет повысить эффективность лечения, снять психологическое напряжение и способствует разностороннему воспитанию детей.

В последние годы в Поволжском государственном технологическом университете студентами и сотрудниками 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. (*Проекты выполнялись при финансовой поддержке РГНФ в рамках научного проекта №15-06-10686*).

Созданные сказочные робототехнические герои «работают» по заданному сценарию, включая движение головы, рук, глаз, губ; ведут в диалоге беседу с окружающими, дают пояснения к мероприятиям, на которых присутствуют. Управление роботами может быть по внутренней компьютерной программе или внешнее – по радиоканалу. В проекте заложена современная элементная база, технологии и недорогие комплектующие. 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, давать справочную информацию.

Роботы выполняют 6-12 команд: двигают руками, поворачивают голову влево и вправо, наклоняются, «моргают», «говорят» и т.д. Кроме того, некоторые роботы могут передвигаться и выполнять другие операции.

Функционирование роботов возможно в трех режимах: внутреннее программное управление, внешнее управление по радиоканалу и комбинированное управление.

В первом режиме работа производится по компьютерной программе, заложенной в памяти робота с использованием внешних датчиков, например, датчиков присутствия. Робот приветствует присутствующих, встречает гостей, снимает шляпу, гово-

рит комплименты, работает гидом, рассказывает сказки детям, ведет воспитательную работу. При этом он двигается, поворачивает голову к собеседнику, моргает глазами, имитирует разговор.

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. Таким образом, «Робот» как бы оживает и вступает в диалог с окружающими с помощью оператора. Этот режим интересен для детей, особенно в диалоговом режиме, когда робот обращается непосредственно к ребенку, спрашивает его, получает ответы.

Третий режим включает первый и второй режимы и представляется более перспективным. Наиболее важным этапом работы является создание оптимальной компьютерной программы. Информационные робототехнические конструкции могут быть экскурсоводами и гидами на выставках и презентациях. Сказочные герои больших размеров 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.

А теперь немного помечтаем о том, каким будет наш город в будущем.

Итак, мы входим в наш «Сказочный» город. По пути заходим в детские дошкольные и культурные учреждения и видим установленные там «Сказочники», «Грибы», «Микки-Маусы», которые рассказывают детям сказки, былины, потешки, облегчая труд воспитателей и способствуя разностороннему развитию детей, а в детских больницах появились «Айболиты», которые скрашивают жизнь больным малышам. В супермаркетах и крупных магазинах отведены помещения для детей, где разместились робототехнические игрушки для маленьких покупателей.

Мы подходим к кукольному театру и видим над входом декоративные часы с циферблатом, на котором изображены добрые зверюшки. Над циферблатом висит «золотая клетка» с «Кукушкой», которая каждый час выходит из клетки и участвует в маленьком спектакле. О начале спектакля извещают трубачи, стоящие на башнях здания, и «Золотой петушок», сидящий на насесте на уровне второго этажа.

Мы входим в театр, и у входа на парадную лестницу нас встречает «Кот в сапогах». Он может снимать шляпу, поворачивать голову, моргать глазами, двигать губами в такт с речью, приветствовать зрителей и желать им счастливого пути, провожая малышей после спектакля.

Датчик присутствия обеспечивает работу робота только при наличии вблизи людей. Управление котом – внутреннее по программе, а также внешнее – с участием артистов в режиме индивидуального диалога со зрителями.

Мы поднимаемся по широкой лестнице и встречаем разных «сказочных» героев, которые находятся в движении и приветствуют посетителей. У входа в зрительный зал висят круглые декоративные часы с Буратино. Веселый человечек общается со зрителями, рассказывает о спектакле, приглашает гостей в зал, подавая предварительные и основные звонки, прощается со зрителями после спектакля.

Спектакль окончился, и нас провожают «Кот в сапогах», Буратино и другие сказочные герои, желают нам всего самого доброго, а мы идем дальше по «Сказочному» городу. Впереди набережная реки, и перед нами возникает плавающий динамический цветомузыкальный фонтан (ДЦМФ), который представляет собой произведение искусств, объединяющее собой совокупность сценария, звука, освещенности, цвета, высоты и формы струй. Они привлекают внимание людей, способствуют их нравствен-

ному, художественному и психологическому развитию, снимают психологическое напряжение.

Расположение ДЦМФ выбрано очень удачно, так как здесь много места для зрителей, которые могут стоять на мосту, сидеть на лавочках на набережной, наслаждаться музыкой и созерцать фантазии из воды, музыки и цвета во всем их великолепии, а также дышать речным воздухом, укрепляя свое здоровье.

Фонтан состоит из отдельных фонтанных насадок, расположенных по окружностям. Высота струй в центре 10-15 м. По внешней окружности располагаются 16 роторных насадок, образующих вращающиеся водяные столбы. Кроме того, в различных местах фонтана установлены 20 быстродействующих «водяных пушек» для имитации «Салюта» высотой до 20-25 м. Подсветка струй осуществляется с помощью 200 светодиодных прожекторов с минимальной потребляемой мощностью. Работа ДЦМФ происходит по компьютерной программе и может изменяться в зависимости от времени суток с учетом праздничных дней. Количество водяных форм фонтана может достигать 16 и более, высота струй, цвет и яркость определяются музыкальным сопровождением. В центре фонтана размещается ионизатор воздуха для создания «морского климата». Кроме того, над фонтаном на высоте 10-15 м формируются голографические фигуры, которые освещены и как бы парят в воздухе, создавая интересные эффекты.

Представляет большой интерес использование ДЦМФ для сопровождения выступлений артистов, например, на Патриаршей площади или в других местах набережной. Эффект будет потрясающий.

Таким образом, динамический цветомузыкальный фонтан будет хорошо виден с Патриаршей площади и с обеих набережных реки, а также с пешеходного моста, которые будут являться как бы зрительным залом. Здесь может разместиться неограниченное количество зрителей, которые при этом не толпятся, а могут наслаждаться ЦМФ, даже сидя на скамейках. Предлагаемое решение объединит в одно целое архитектурные сооружения района набережной реки и будет своеобразной визитной карточкой города Йошкар-Олы и Республики Марий Эл.

Продолжаем нашу виртуальную экскурсию. На набережной установлено большое количество скамеек, небольших скульптур в виде сказочных героев, животных, бюстов знаменитых людей, цветочных клумб – и все это с оригинальным динамическим цветомузыкальным сопровождением.

Мы возвращаемся на бульвар, идем в сторону парка и подходим к динамическому цветомузыкальному фонтану «Дюймовочка», который работает в автоматическом режиме под воздействием гидростатического давления. Фонтан представляет собой бассейн, в центре которого располагается цветок, а по внешней стороне установлены насадки фонтана в виде фигур земноводных животных. При наполнении бассейна водой уровень воды повышается, цветок распускается и «Дюймовочка» поднимается с колен и начинает танцевать под музыку со световыми эффектами, при этом уровень воды в бассейне продолжает повышаться. Через некоторое время открывается клапан, и вода сливается, при этом «Дюймовочка» становится на колено, лепестки цветка поднимаются и прикрывают девочку. В таком положении фонтан работает по программе с подсветкой и музыкальным сопровождением. Через заданное время процесс повторяется.

Насладившись фонтаном, мы входим в парк и видим «Бременских музыкантов», играющих на музыкальных инструментах. Фигуры движутся, объявляют номера. Мы идем дальше и подходим к ДК им. Ленина. Здесь действует динамический ЦМФ «Победа», в центре фонтана – фигура «Георгия Победоносца», по краям располагаются

типовые фонтанные комплексы, которые работают по программе, создавая незабываемые водяные картины со световой подсветкой и с тихой приятной музыкой. Здесь можно отдохнуть на скамейках, установленных среди цветочных клумб, полюбоваться фонтаном, послушать музыку.

За ДК им. Ленина располагается парк, в котором на детской площадке развлекают публику и детей робототехнические клоуны «Карандаш» и «Всезнайка». В парке большое количество различных аттракционов, робототехнических объектов, которые доставят массу радости детям и их родителям.

Все, что мы увидели в «Сказочном городе», – это проекты сотрудников и студентов Поволжского государственного технологического университета, которые разработали эскизные и технические проекты на робототехнические конструкции для города, получили 7 патентов и 4 медали на Всероссийских конкурсах лучших студенческих научных работ. Предлагаемый сказочный город при минимальном финансировании и максимальной поддержке властными структурами мог бы стать реальностью в течение 1-2 лет.

Список литературы

1. Лаврентьев Б. Ф., Щипкова Е. В. Орлова Н. А., Иванов Д. И. Робототехническая конструкция: патент на полезную модель RU № 139409 U1. Опубл. 20.04.2014.
2. Лаврентьев Б. Ф., Васильева Я. М. Робототехническая конструкция с внутренним и внешним управлением: патент на полезную модель RU № 142839 U1. Опубл. 10.07.2014.
3. Лаврентьев Б. Ф. Информационные робототехнические конструкции как средство разностороннего развития детей // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер. Технологическая. 2014. С. 104-107.
4. Лаврентьев Б. Ф. Создание динамического цветомузыкального фонтана. // Теоретические и прикладные вопросы науки и образования: сборник научных трудов НПК. Тамбов: ЮКОН, 2015. С. 121-123.
5. Лаврентьев Б. Ф., Васильева Я. М. Создание информационных робототехнических конструкций для всестороннего развития и воспитания детей // Теоретические и прикладные вопросы науки и образования. Тамбов: ЮКОН, 2015. С. 119-121.
6. Лаврентьев Б. Ф., Васильева Я. М. Детские информационные робототехнические конструкции для лечебных и культурных центров // Вестник современной науки. 2015. С. 111-113.
7. Лаврентьев Б. Ф. Информационные робототехнические конструкции для культурных и выставочных центров // Научный альманах. 2015. № 5 (7). С. 87-91.
8. Лаврентьев Б. Ф. Информационные робототехнические объекты в современном городе // Альманах современной науки и образования. 2016. № 6. С. 48-50.

CITY IN WHICH I WANTED TO LIVE

Lavrentiev Boris Fedorovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The article contains information about what a modern city should be in which people could live in peace, accord in accordance with their national traditions, could work, study and relax in national parks, entertainment centers and Nature.

Keywords: *city, architecture, puppet theater, fabulous robots, internal and external control, robotic constructions, color music fountains.*

УДК 792; 379.8

ТЕАТР КУКОЛ В СОВРЕМЕННОМ ГОРОДЕ

Лаврентьев Борис Федорович

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
Lavreytevbfb@volgatech.net

Предлагается вариант создания в городе «сказочного» кукольного театра. Значительное внимание уделено вопросам проектирования динамических, информационных робототехнических конструкций для повышения эмоционально-психологического воздействия на зрителей (особенно детского возраста).

Ключевые слова: кукольный театр, робототехнические конструкции, сказочные герои, декоративные часы, динамический цветомузыкальный фонтан, эмоционально-психологическое воздействие на зрителей.

Введение. Одной из главных достопримечательностей современного города должен быть детский театр кукол, который, как правило, является визитной карточкой города. Детский кукольный театр – это место первичного соприкосновения ребенка с высокой культурой и искусством, с помощью доступных восприятию и пониманию ребенка средств, учитывающих его возрастные и познавательные возможности. Детский театр – это место встречи маленькой личности и большого мира, и от атмосферы этой встречи во многом зависит дальнейший ход социализации ребенка, его адаптации ко взрослой жизни, формирование достойного гражданина общества.

Детский театр кукол – это своеобразная культурная технология, то есть средство работы с сознанием и поведением ребенка художественными средствами, опираясь на все богатство и многообразие человеческой духовной культуры.

В этом смысле кукольный театр – это важный механизм защиты и самозащиты детства от разрушающих влияний псевдокультуры в современном обществе.

Проект «сказочного» театра кукол был разработан в 2014-2016 годах коллективом сотрудников и студентов Поволжского государственного технологического университета после строительства в городе нового Республиканского театра кукол.

Цель работы – создание эскизного проекта «сказочного» кукольного театра для современного города с повышенным эмоционально-психологическим воздействием на зрителей, разработка автоматизированных робототехнических конструкций и сценариев по их применению.

Основные задачи предлагаемого проекта:

- 1) повысить зрелищность мероприятий на театральной площади и во всем близлежащем районе;
- 2) усилить эмоционально-психологическое воздействие на зрителя и туристов;
- 3) создать своеобразную визитную карточку города.

Известно, что каждый театр должен иметь свое лицо и не иметь аналогов. Как это сделать? Прежде всего необходимо его «оживить». Это вполне возможно, если внутри театра и снаружи создать динамические, автоматизированные робототехнические конструкции. Известно, что «живые» экспонаты привлекают зрителей значительно больше, чем статические. Это говорит о том, что для повышения эмоционально-психологического воздействия театра на зрителей необходимо оснастить его дешевы-

ми информационными, автоматизированными робототехническими конструкциями, выполненными в виде сказочных, былинных или национальных героев, динамическими цветомузыкальными фонтанами, динамическими декоративными табло.

Для решения этих задач на фасаде кукольного театра предлагается разместить на уровне третьего этажа по центру здания декоративные часы диаметром 250 см, циферблат часов полупрозрачный с внутренней подсветкой. На циферблате с внутренней стороны изображены «динамические человечки» в виде веселых обезьянок, животных, гномиков, которые из-за внутренней подсветки будут хорошо видны снаружи. Возможно использование световых эффектов или голограмм. На каждой из двух башен фасада размещаются по три манекена «Трубачей» с трубами и механическим поворотом их. Звуками труб «Трубачи» извещают о начале спектакля. Дополнительно «Трубачей» можно задействовать с боем часов.

Внутри здания у входа на парадную лестницу размещается «Кот в сапогах», который будет встречать зрителей, снимать шляпу, поворачивать голову, моргать глазами, двигать ртом в такт с речью, приветствовать зрителей и прощаться с ними после спектакля. Датчик присутствия обеспечивает работу робота только при наличии вблизи людей. Управление котом – внутреннее по программе, а также внешнее с участием артистов в режиме индивидуального диалога со зрителями (детьми).

В фойе зала можно установить «Попугая».

Попугай будет вертеть головой, моргать глазами, в такт с речью открывать рот, приподниматься на лапках, махать крыльями, поднимать гребешок и работать в трех режимах:

- в режиме внутреннего программного управления;
- в режиме внешнего управления по радиоканалу с участием артистов;
- в режиме трехкратного повторения «услышанных» фраз.

Третий режим возникает автоматически, если зритель близко подходит к попугаю. В этом режиме «Попугай» внимательно смотрит на зрителя, не двигается и три раза с акцентом повторяет последнюю услышанную фразу, то есть «попугайничает».

• *Динамический цветомузыкальный фонтан «Дюймовочка»* является одной из центральных робототехнических конструкций кукольного театра, которая может устанавливаться в центре фойе здания. Фонтан представляет собой художественно оформленный бассейн диаметром 2-2,5 м с цветовой подсветкой и изумрудной водой. В центре фонтана – художественно оформленный цветок с закрытыми лепестками. По внешней окружности бассейна установлены фигурки обитателей водной среды: лягушки, рыбы, крокодильчики и т.д., из пасти или рта которых бьют подсвеченные струи воды. Бассейн наполняется водой, и поплавки через систему рычагов раскрывают лепестки прекрасного цветка, в центре которого сидит Дюймовочка.

• *Белый гриб-сказочник* может также быть установлен на одной из площадок здания театра. Он может поворачиваться вокруг оси на угол $\pm 45^\circ$, сдвигать шляпу, моргать, говорить, шевеля ртом, и учить маленьких зрителей правилам хорошего тона. Он имеет датчик присутствия и «оживает» только при приближении зрителей.

• *«Декоративные часы Буратино»*. Декоративные часы с Буратино планируется поставить перед входом в зрительный зал.

Часы необходимо «оживить»: создать внутреннее программное и внешнее управление, световую подсветку, радиоканал управления, внешний блок управления, разработать программное обеспечение.

Буратино будет индивидуально общаться со зрителями, комментировать происходящее на сцене, приглашать зрителей в зал путем подачи предварительных и основных звонков, прощаться со зрителями после спектакля.

Особенностью предлагаемого табло является то, фигура Буратино представляет собой информационную робототехническую конструкцию с внутренним и внешним управлением. При внутреннем управлении функционирование робототехнической конструкции 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 глазами, имитирует разговор, выражает эмоции и т.д.

При внешнем управлении функционирование Буратино происходит с помощью оператора, который находится в отдельном помещении на расстоянии 15-20 м и видит обстановку вблизи робота на экране монитора. Управление осуществляется по радиоканалу. Таким образом «робот» как бы оживает и вступает в диалог с окружающими с помощью оператора. Данная группа вызывает особый интерес у детей, так как позволяет реализовывать интерактивный режим работы роботов.

Предлагаемые часы содержат много интересных технических решений, на которые получены патенты. Аналогичных разработок не существует. Декоративные часы с Буратино планируется поставить перед входом в зрительный зал Республиканского кукольного театра.

Наиболее сложной частью проекта является разработка системы управления кукольным театром, которая располагается в отдельном помещении, где установлена аппаратура видеонаблюдения, дисплеи и пульта управления робототехническими конструкциями, установленными в театре. На дисплеи выводится звуковая и видеoinформация с каждого робототехнического объекта. Оператор (артист) видит обстановку вблизи робототехнического объекта и может в любой момент перейти на внешнее управление, при котором он способен индивидуально общаться с любым зрителем или может обращаться с информацией ко всем зрителям. В любой момент оператор может отключить внешнее управление, и тогда соответствующий робототехнический объект перейдет в режим внутреннего управления.

Сценарий для каждого мероприятия, проводимого в театре, разрабатывается заранее и передается операторам, в качестве которых, как правило, выступают артисты театра. Качество сценария в значительной степени определяет уровень психоэмоционального воздействия кукольного театра на зрителей (детей)

Выполнение настоящего проекта позволит превратить кукольный театр в сказку, в любимое место для детей, будет способствовать всестороннему их развитию и формированию личности ребенка. Кукольный театр будет достопримечательностью города, его визитной карточкой. Подобных театров в нашей стране нет. По тематике проекта получено восемь патентов РФ. В работах над проектом принимает участие объединенная команда заинтересованных специалистов: сотрудники Поволжского государственного технологического университета, Марийского государственного университета, Республиканского кукольного театра. Реализация проекта способна наполнить дополнительным содержанием культурно-исторический облик Йошкар-Олы, стать важным элементом ее бренда в пространстве туриндустрии современного российского общества, а тем самым сослужить добрую службу и для Йошкар-Олы и Марий Эл как одного из оригинальных и привлекательных центров внутреннего и въездного туризма, а главное создаст праздник для детей.

Выполнение настоящего проекта позволит превратить кукольный театр в сказку, в любимое место для детей, будет способствовать всестороннему развитию детей.

Список литературы

1. Лаврентьев Б. Ф., Васильева Я. М. Создание информационных робототехнических конструкций для всестороннего развития и воспитания детей // Теоретические и прикладные вопросы науки и образования: сборник научных трудов МНПК. Тамбов: ООО ЮКОН, 2015. С. 119-121.
2. Лаврентьев Б. Ф. Сказочный кукольный театр в городе Йошкар-Оле // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Технологическая. 2015. № 3. С. 85-90.
3. Лаврентьев Б. Ф. Детские информационные робототехнические конструкции // Кибернетика и программирование. 2015. № 4. С. 78-88.
4. Лаврентьев Б. Ф., Бусыгин Г. В., Бахраков Ю. А., Кудрявцев И. А. Робототехническая конструкция: патент на полезную модель. RU № 133009 U1. Оpubл. 10.10.2013.
5. Лаврентьев Б. Ф., Щипкова Е. В. Орлова Н. А., Иванов Д. И. Робототехническая конструкция: патент на полезную модель. RU № 139409 U1.
6. Лаврентьев Б. Ф., Васильева Я. М. Робототехническая конструкция с внутренним и внешним управлением: патент на полезную модель. RU № 142839 U1. Оpubл. 10.07.2014.
7. Вахмянина Л. А., Лаврентьев Б. Ф. Создание в городе Йошкар-Оле Республиканского сказочного кукольного театра // Восемнадцатые Вавиловские чтения: материалы постоянно действующей Всероссийской конференции. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. С. 87-90.
8. Лаврентьев Б. Ф. Информационные робототехнические конструкции как средство разностороннего развития детей // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Технологическая. 2014. № 2. С. 104-107.

THE COUNTRY THEATER IN THE MODERN CITY

Lavrentiev Boris Fedorovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The article proposes the option of creating a "fairytale" puppet theater in the city. Considerable attention is paid to the design of dynamic, information-based robotic structures to enhance the emotional and psychological impact on viewers

Keywords: *puppet theater, robotic constructions, fairy-tale heroes, decorative clock, a cat in boots, a parrot, a dynamic color music fountain, an emotional and psychological impact on the audience.*

УДК 621.371.25; 550.388.2

АЛГОРИТМ CORDIC В МЕТОДЕ ПРЯМОГО ЦИФРОВОГО
СИНТЕЗА СИГНАЛОВ

Михадарова Ольга Васильевна

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
MihadarovaOV@volgatech.net

Рассмотрен принцип построения оптимизированных прямых цифровых синтезаторов частоты и перспективы их использования для синтеза радиосигналов. Предложены структуры синтезаторов с фазовыми аккумуляторами, дающие возможность увеличения разрядности синтезаторов, улучшающие их частотные характеристики для расширения диапазона

синтезируемых сигналов. Рассмотрен комбинированный метод формирования гармоничных сигналов на основе алгоритма CORDIC. Приведены результаты вычислений тригонометрических функций на основе этого алгоритма.

Ключевые слова: вычислительный синтезатор частоты, фазовый аккумулятор, алгоритм CORDIC.

Введение. Современные системы связи требуют полностью цифровых приемников, состоящих только из антенны и полностью программируемой схемы с цифровыми модуляторами и демодуляторами. В таких системах используется метод прямого цифрового синтеза (DDFS) гетеродинного сигнала. В этом методе для синтеза фазы используется накапливающий сумматор [1]. Его объем принимается за 2π . При заполнении сумматора он обнуляется и начинает заполняться заново. Таким образом формируется периодическая тригонометрическая функция.

В DDSF функциональный преобразователь (фаза $\rightarrow$ функция) можно реализовать по-разному. В большинстве случаев используют таблицу [1], содержащую предварительно рассчитанные значения функции для различных углов. Применение такого подхода в методе прямого цифрового синтеза (DDFS) позволило создать первый отечественный ионизонд с непрерывным ЛЧМ-сигналом. В связи с бурным развитием микроэлектроники данный метод получил значительное развитие и широкую область применения. Прежде всего, он позволил уменьшить массогабаритные характеристики аппаратуры и достаточно просто синтезировать сигналы с расширенным спектром.

Данный метод привлек внимание радиолюбителей, занимающихся КВ-связью, что обусловило появление о нем популярных статей (см. например, [1–11]). Однако для реализации этого метода необходим большой объем памяти. Поэтому используют другой алгоритм, в котором применяются некоторые логические итерационные вычисления, такие как сложение/вычитание и сдвиг. Алгоритм функционального преобразования в этом случае называют CORDIC (Coordinate Rotation Digital Computer) [13–17]. Для этого применения алгоритм является новым и недостаточно изученным.

Цель работы – исследовать теорию алгоритма CORDIC в приложении к методу DDSF.

Алгоритм синтеза изменяющейся линейно от времени фазы в методе DDSF

Пусть синтезируемый сигнал имеет вид

$$u(t) = \sin \phi(t) \quad \text{или} \quad u(t) = \cos \phi(t). \quad (1)$$

Тогда для DDSF фаза представима в виде

$$\phi(t) = 2\pi \bar{f} t. \quad (2)$$

Видим, что в нашем случае фаза является линейной функцией [1] времени t . При численных расчетах время задается дискретно. $t_1, t_2, t_3 \dots t_n \dots$. Пусть оно задается через равные интервалы T_s , тогда произвольный отсчет функций $\phi(t)$ и $u(t)$ произойдет в момент времени

$$t_n = nT_s. \quad (3)$$

Итак, задача синтеза косинуса как функции времени на первом этапе заключается в вычислении фазы как функции времени. Обычно T_s является периодом коротких импульсов с частотой f_s , которая называется частотой синхронизации, или тактовой, и равна $f_s = 1/T_s$. Таким образом, T_s задает масштаб шкалы времени для вычисляемых отсчетов функций фазы и косинуса.

Для обоснования метода вычисления фазы используем следующие рассуждения. Учтем, что синтезируемая частота по определению является производной от фазы по времени $\bar{f} = \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi(t)}{dt}$. Вспомним, что для линейной функции производная равна отношению приращений. Поэтому для синтезируемой частоты имеем выражение

$$\bar{f} = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta\phi}{T_s}.$$

Для фазы получим

$$\phi[n] = 2\pi\bar{f} \cdot nT_s = 2\pi\bar{f} \sum_1^n T_s = 2\pi\bar{f} \sum_1^n T_s = \sum_1^n \Delta\phi = n \cdot \Delta\phi. \quad (4)$$

Видим, что для вычисления текущего значения фазы необходимо «накапливать» (суммировать) ее приращения, получаемые на интервале времени между отсчетами T_s . Обратим внимание на то, что из-за линейности эти приращения одинаковы для всех моментов времени.

Для вычисления фазы по формуле (4) используется устройство, называемое накапливающим сумматором, или аккумулятором фазы (accumulator). Аккумулятор имеет ограниченный объем. Пусть объем аккумулятора равен 2^J . Будем считать, что при заполнении аккумулятора фаза сигнала достигает 2π , а после заполнения накопитель обнуляется. Поэтому для того, чтобы приращения фазы выразить в радианах, нам необходимо сумму (4) делить на объем аккумулятора (нормируя к 2π). Периодичность заполнения аккумулятора обеспечивает периодичность изменения фазы во времени и периодичность синтезируемой функции.

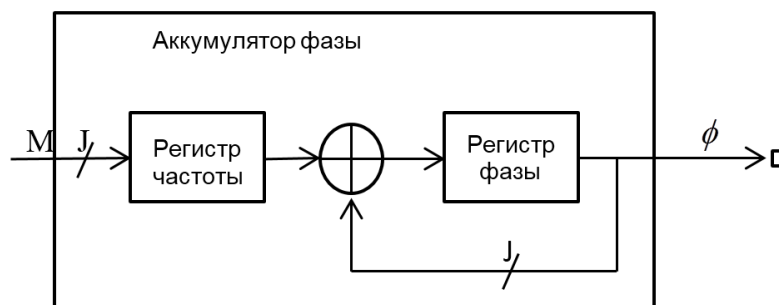


Рисунок 1 – Упрощенная схема аккумулятора фазы

Выразим частоту и фазу через используемые переменные задачи. Исходя из наших рассуждений, приращение фазы представим как $\Delta\phi = 2\pi \cdot M$, при том, что $M \in [0,1]$. При шаге изменения времени, равном T_s , накопитель заполнится за время $T_c = \frac{2^J}{M} \cdot T_s$, которое и равно периоду формируемого колебания. Приращение фазы представляет собой двоичное число. Поэтому частоту формируемого колебания можно определить по формуле

$$\bar{f} = \frac{M \cdot f_s}{2^J}, \quad (5)$$

В данном случае M характеризует приращение фазы и фактически является кодом выходной частоты. При постоянной величине T_s код частоты M определяет скорость

изменения фазы от времени и при линейном законе – формируемую частоту $\bar{f}$. Поэтому чем больше M , тем выше формируемая частота. Код M можно оценить по значениям частот $\bar{f}$, f_s и разрядности аккумулятора фазы J , используя формулу

$$\Delta\phi = \left[2^J \cdot \frac{\bar{f}}{f_s} + \frac{1}{2} \right], \quad (6)$$

где $[x]$ – целая часть числа x .

Максимальное значение фазы составляет $2\pi(2^J - 1)/2^J$. Минимальное приращение генерируемой частоты (частотное разрешение) будет иметь место при $M = 1$.

В общем случае синхрочастота f_s и объем накапливающего сумматора J определяют частотное разрешение сетки синтезируемых частот:

$$\delta\bar{f} = \frac{f_s}{2^J}. \quad (7)$$

Видно, что частотное разрешение тем выше, чем больше разрядность накапливающего сумматора. Итак, формула (6) позволяет вычислить приращение фазы для заданного в задаче частотного разрешения, а формула (4) – получать отсчеты значений фазы в зависимости от номера (времени).

Основы функционального преобразователя в методе DDFS на основе таблицы и итерационного алгоритма CORDIC

Для синтеза по заданному аргументу самой функции необходим функциональный преобразователь

$$\phi(t) \rightarrow \sin \phi(t). \quad (8)$$

В большинстве случаев такой преобразователь строится на основе табличного задания функции. Для хранения значений синус и косинус для каждой сформированной фазы используются статические постоянные запоминающие устройства (ПЗУ) (см. рис. 2). При этом с повышением требований к качеству синтезированного сигнала объем ПЗУ необходимо увеличивать [18-20]. Это является недостатком данного функционального преобразователя.

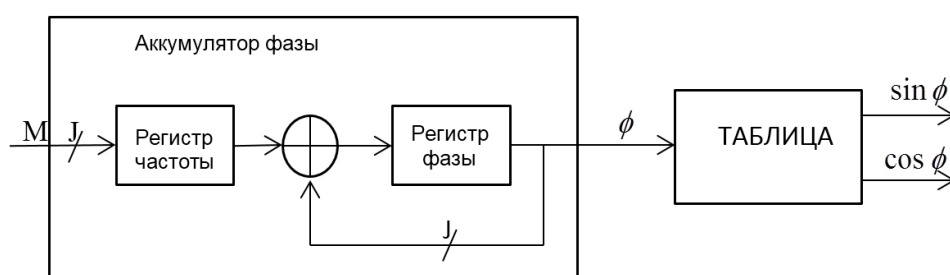


Рисунок 2 – Упрощенная структурная схема DDFS на основе табличного функционального преобразователя

Для уменьшения этого большого размера постоянного запоминающего устройства (ПЗУ), существует менее затратный подход, основанный на алгоритме CORDIC (Coordinate Rotation Digital Computer).

На рисунке 3 представлена схема синтезатора с функциональным преобразователем на CORDIC.

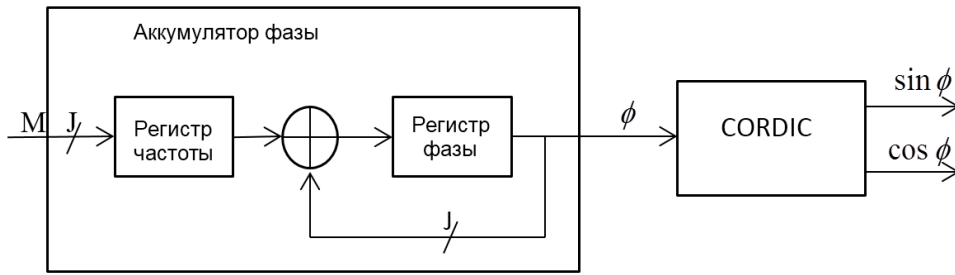


Рисунок 3 – Упрощенная структурная схема DDS на основе алгоритма CORDIC

Теоретические основы функционального преобразователя на основе итерационного алгоритма CORDIC

Алгоритм CORDIC основан на тригонометрических соотношениях, описывающих изменение координат вектора $\vec{v}_i = (x_0; y_0)$ при повороте на определенный угол [13-17].

Переобозначим значения фаз $\phi = \phi(n)$ и $\phi_0 = \phi(n-1)$, $n \in N$.

Тогда в полярных координатах поворот вектора $e^{j\phi_0}$ на угол $\Delta\phi$ дает вектор $e^{j(\phi_0 + \Delta\phi)}$.

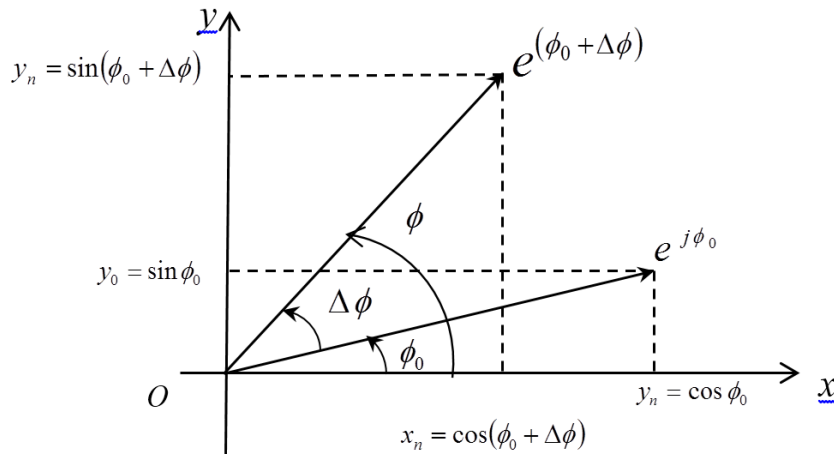


Рисунок 4 – Поворот вектора $e^{j\phi_0}$

Учитывая, что $\phi - \phi_0 = \Delta\phi$ или $\phi = \phi_0 + \Delta\phi$, имеем

$$\begin{aligned} u(t) &= e^{j(\phi_0 + \Delta\phi)} = \cos(\phi_0 + \Delta\phi) + j \sin(\phi_0 + \Delta\phi) = \\ &= (\cos \phi_0 \cos \Delta\phi - \sin \phi_0 \sin \Delta\phi) + j(\sin \phi_0 \cos \Delta\phi + \cos \phi_0 \sin \Delta\phi) = \\ &= \cos \Delta\phi ([\cos \phi_0 - \operatorname{tg} \Delta\phi \cdot \sin \phi_0] + j[\sin \phi_0 + \operatorname{tg} \Delta\phi \cdot \cos \phi_0]) \end{aligned}$$

В декартовых координатах значения для x_n и y_n примут следующий вид:

$$\begin{aligned} x_n &= x_0 \cos \Delta\phi - y_0 \sin \Delta\phi = \cos \Delta\phi (x_0 - y_0 \operatorname{tg} \Delta\phi); \\ y_n &= y_0 \cos \Delta\phi + x_0 \sin \Delta\phi = \cos \Delta\phi (y_0 + x_0 \operatorname{tg} \Delta\phi). \end{aligned} \quad (9)$$

Если задать начальные координаты вектора $(x_0; y_0) = (1; 0)$, будем иметь

$$x_n = \cos \phi, \quad y_n = \sin \phi.$$

В этом случае в результате поворота единичного вектора на угол $\Delta\phi$ значения его проекций принимают значения функций синуса и косинуса для угла $\Delta\phi$. Однако величины (x, y) остаются неизвестными, поэтому прибегают к следующим шагам.

1) Выбрав угол поворота таким образом, что $\operatorname{tg}\Delta\phi = \pm 2^{-i}$ или $\Delta\phi = \arctg 2^{-i}$ (i – целое число), произведение значений x_0 и y_0 на $\operatorname{tg}\Delta\phi$ превращается в простую операцию сдвига значений x_0 и y_0 на i разрядов вправо.

2) Итерационным способом, подставляя $\Delta\phi(i)$, приближаются к требуемому углу $\Delta\phi$. При этом на каждом шаге выбирается направление поворота, зависящее от разности текущего угла и требуемого.

3) Умножение на поправочный коэффициент $K = \prod_{i=0}^{n-1} K_i = \prod_{i=0}^{n-1} \cos \Delta\phi_i = \prod_{i=0}^{n-1} \frac{1}{\sqrt{1+2^{-2i}}}$, компенсирующий умножение координат на $\cos[\Delta\phi(i)]$ на каждом шаге. Вследствие четности функции косинуса $\cos[\Delta\phi(i)] = \cos[-\Delta\phi(i)]$ эта величина не зависит от направлений поворота при приближении к $\Delta\phi$.

Таким образом, формула для вращения вектора единичной длины примет вид

$u(t) = e^{j(\phi_0 + \Delta\phi)} = K \cdot \left([\cos \phi_0 - 2^{-i} \cdot \sin \phi_0] + j[\sin \phi_0 + 2^{-i} \cdot \cos \phi_0] \right)$ – CORDIC вращение,

где $\cos \phi_0 - 2^{-i} \cdot \sin \phi_0$ – бит сдвига и вычитания,

$\sin \phi_0 + 2^{-i} \cdot \cos \phi_0$ – бит сдвига и суммирования,

$K_i = \cos \Delta\phi_i$ – коэффициент масштабирования.

$$x_{i+1} = K(\cos \phi_0 - 2^{-i} \cdot \sigma_i \cdot \sin \phi_0) = K(x_0 - 2^{-i} \cdot \sigma_i \cdot y_0);$$

$$y_{i+1} = K(\sin \phi_0 + 2^{-i} \cdot \sigma_i \cdot \cos \phi_0) = K(y_0 + 2^{-i} \cdot \sigma_i \cdot x_0).$$

Исключая коэффициенты деформации, получим, что итерационные формулы CORDIC-алгоритма для i -го шага будут иметь следующий вид:

$$x_{i+1} = x_i - y_i \cdot \sigma_i \cdot 2^{-i},$$

$$y_{i+1} = y_i + x_i \cdot \sigma_i \cdot 2^{-i},$$

$$z_{i+1} = z_i - \sigma_i \cdot \arctg(2^{-i}), \quad (10)$$

$$\sigma_i = \pm 1.$$

Здесь σ_i определяет направление поворота (принимает значение -1 или $+1$), z_i описывает разность между заданным углом $\Delta\phi$ и углом, на который повернулся заданный вектор $\vec{v}_i = (x_0; y_0)$ в результате проведения i итераций.

Выбираем в качестве начальных данных $y_0 = 0$, $x_0 = 1$ после выполнения n итераций в режиме операции «поворот», в результате получим значения:

$$\begin{aligned} x_n &\approx \cos \phi, \\ y_n &\approx \sin \phi. \end{aligned} \quad (11)$$

Таким образом, данный алгоритм позволяет путем нескольких итераций осуществить функциональное преобразование значения фаза в значение тригонометрических функций синуса и косинуса этой фазы.

Для синтеза тригонометрических функций, зависящих от времени, необходимо через равные интервалы времени изменять фазу на ее приращение. В этой связи нами рассматривалась данная задача синтеза. В качестве примера мы анализировали работоспособность алгоритма при повороте единичного вектора $(x_0; y_0) = (1; 0)$ на эквидистантные углы с шагом, равным 30° . Вычисления привели к результатам, представленным в таблице.

Значения координат единичного вектора

Угол (в градусах)	Координата x	Координата y
0	1	0
30	0.86603	0.5
60	0.50002	0.866
90	$4.59688 \cdot 10^{-5}$	1
120	-0.49995	0.8661
150	-0.86601	0.5001
180	-1.00004	$1.1025 \cdot 10^{-4}$
210	-0.86612	-0.4999
240	-0.50015	-0.866
270	$-1.58553 \cdot 10^{-4}$	-1.0001
300	0.4999	-0.8662
330	0.86602	-0.5002
360	1.0001	$-1.9186 \cdot 10^{-4}$

Откладывая значения угла, получим следующие графики синтезируемой функции:

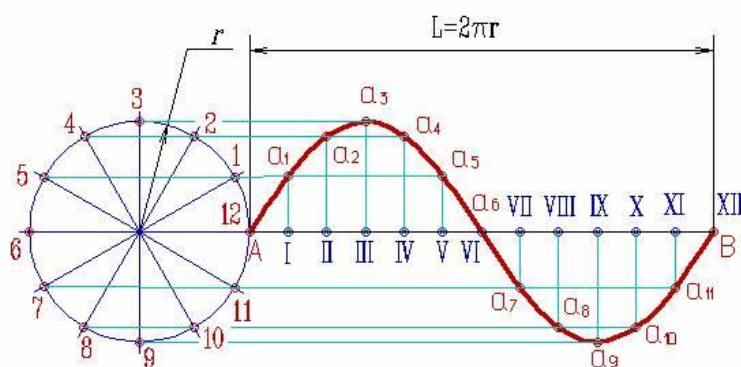


Рисунок 5 – Графики синтезируемой по итерационному алгоритму CORDIC функции синуса

Расчеты показали, что заданная ошибка синтеза достигается при 8-9 итерациях.

Выводы

Проведенные нами исследования и результаты работы [13] показывают, что функциональное преобразование с использованием алгоритма CORDIC может быть использовано:

- для сокращения объема используемой памяти;
- ограничения количества и упрощения выполняемых операций;
- свободного масштабирования схем;
- минимального числа затрат, необходимых для аппаратной реализации, так как требуются только сдвиговые регистры, сумматоры.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ: № 15-07-05280; 17-07-00799; 16-37-60068; 16-07-00210; РНФ № 15-19-10053.

Список литературы

1. Иванов Д. В., Иванов В. А., Чернов А. А. Теоретические основы метода прямого цифрового синтеза радиосигналов для цифровых систем связи // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2012. № 1 (15). С. 3-34.
2. Иванов В. А., Катков Е. В., Чернов А. А. Устройство и алгоритмы синхронизации радиотехнических систем связи и зондирования ионосферных высокочастотных радиоканалов // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. № 2. С. 114-126.
3. Зондирование ионосферных каналов высокочастотной связи с поверхности земли / В. А. Иванов, Д. В. Иванов, Н. В. Рябова, А. В. Мальцев, М. И. Рябова, И. Е. Царев // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2008. № 1. С. 3-20.
4. Иванов В. А., Иванов Д. В., Рябова М. И. Исследование факторов, приводящих к искажению высокочастотных сигналов с расширенным спектром при их квазизенитном распространении в ионосфере // Электромагнитные волны и электронные системы. 2011. Т. 16, № 8. С. 33-39.
5. 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. № 1. С. 3-37.
6. Иванов В. А., Рябова Н. В. Современные подходы в краткосрочном прогнозировании помехоустойчивых ионосферных радиоканалов для декаметровых телекоммуникационных систем // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2007. № 1. С. 24-35.
7. Исследование регулярной и стохастической дисперсии в ионосферных широкополосных высокочастотных радиоканалах / В. А. Иванов, Д. В. Иванов, Н. Н. Михеева, М. И. Рябова // Нелинейный мир. 2012. Т. 10, № 10. С. 678-686.
8. Искажение сложных декаметровых радиосигналов в дисперсных ионосферных радиоканалах при квазизенитном распространении / В. А. Иванов, Д. В. Иванов, М. И. Рябова, Н. А. Сорокин // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. № 1. С. 43-53.
9. Иванов В. А., Иванов Д. В., Колчев А. А. Коррекция широкополосных коротковолновых ионосферных радиоканалов // Радиотехника и электроника. 2003. Т. 48, № 6. С. 688-697.
10. Исследования коррекции дисперсионных искажений, возникающих в ионосферных радиоканалах с полосой 1 МГц / Д. В. Иванов, В. А. Иванов, М. И. Рябова, А. Р. Лащевский // Электромагнитные волны и электронные системы. 2008. Т. 13, № 8. С. 58-66.
11. Иванов Д. В. Искажения в ионосфере декаметровых сигналов с псевдослучайной рабочей частотой // Радиотехника и электроника. 2006. Т. 51, № 7. С. 807-815.
12. Тюрин В. А. Метод прямого цифрового синтеза в генераторах сигналов специальной формы SFG-2110 и АКИП-3410/3: учебно-методическое пособие. Казань: Казанский федеральный университет, 2015. 74 с.
13. Михадарова О. В. Перспективы использования алгоритма CORDIC для синтеза радиосигналов // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Технологическая. 2016. Вып. 4. 240 с.
14. Torres Omar A. Design and implementation of a CORDIC rotator and software integration for low-power exponent computation // The University of Texas Digital Repository (UTDR), 2013–12. URL: <http://hdl.handle.net/2152/24052>.
15. Volder J. The CORDIC Trigonometric Computing Technique // IRE Transactions on Electronic Computing. Vol EC-8. Sept 1959. P. 330-334.
16. Дайнеко Д. Реализация CORDIC-алгоритма на ПЛИС // Компоненты и технологии. 2011. № 12. С. 36-46. URL: http://kit-e.ru/articles/plis/2011_12_36.php
17. KavayaSharat Dr. B. V. Uma, Sagar D. M. Calculation of Sine and Cosine of an Angle using the CORDIC Algorithm // International journal of innovative technology and research (IJITR). February – March 2014. No. 2, Is. 2. P. 891-895.

18. Prakash B., Hariharan K. and Vaithiyanathan V. An Optimized Direct Digital Frequency Synthesizer (DDFS) // Contemporary Engineering Sciences. 2014. Vol. 7, No. 9. P. 427-433.
19. Maher Jridi, Ayman Alfalou. Direct Digital Frequency Synthesizer with CORDIC Algorithm and Taylor Series Approximation for Digital Receivers // European Journal of Scientific Research, EuroJournals. 2009. 30 (4). P. 542-553.
20. Grayver E. and Daneshrad B. Direct digital frequency synthesis using a modified CORDIC // Proceedings of the IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS '98). June 1998. Vol. 5. P. 241-244.

CORDIC ALGORITHM IN THE METHOD OF DIRECT DIGITAL SYNTHESIS OF SIGNALS

Mihadarova Olga Vasilievna

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The principle of constructing optimized direct digital frequency synthesizers and prospects of their use for the synthesis of radio signals are considered. The structure of the synthesizer with phase accumulators which gives the possibility to increase the bit synths, improving their frequency characteristics to expand the range of synthesized signals are proposed. Considered a combined method of formation of harmonic signals based on the CORDIC algorithm. The results of calculations of trigonometric functions based on the CORDIC algorithm are presented.

Keywords: computing a frequency synthesizer, the phase accumulator, the CORDIC algorithm.

УДК 621.396.24

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА ТРЁХМЕРНЫХ ИОНОГРАММ ВЕРТИКАЛЬНОГО И НАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ВЧ РАДИОКАНАЛОВ

¹*Рябова Мария Игоревна, ²Овчинников Владимир Викторович,*
²*Лащевский Алексей Романович*

¹ МГТУ имени Н.Э. Баумана, г. Москва

² ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
miryabova@mail.ru

Проведены численные исследования эффектов фазовой дисперсности распространения для широкополосных элементов непрерывного FMCW сигнала с различными средними частотами спектра, соответствующими средним частотам зондируемых радиоканалов. Для синтеза частотных зависимостей задержки использовалась Международная справочная модель ионосферы IRI. Синтезированы трёхмерные ионограммы вертикального и наклонного зондирования ионосферы в случае дисперсии второго и третьего порядков.

Ключевые слова: ионосфера, дисперсия, ЛЧМ сигнал, радиоканал, дисперсионные искажения.

Введение. В настоящее время одной из актуальных научных задач является развитие радиофизических методик обработки и анализа сигналов для повышения информационной эффективности методов зондирования широкополосных и сверхширокополосных ионосферных ВЧ радиоканалов ЛЧМ сигналами (FMCW). Главной негатив-

ной проблемой расширения полосы канала является частотная дисперсия среды распространения, тем большая, чем шире полоса частот спектра сигнала, которая приводит к уменьшению корреляции принимаемых сложных сигналов с излучаемыми сигналами. Наиболее же существенными являются фазо-частотные искажения, вызываемые нелинейностью ФЧХ среды. Эти искажения приводят к непостоянству времени группового запаздывания отдельных частот.

Цель работы – исследовать особенности влияния нелинейной частотной дисперсии на искажения ЛЧМ сигнала.

Импульсная характеристика радиоканала. Обычно спектры сложных сигналов являются финитными или их можно приближённо считать финитными. Им будут соответствовать радиоканалы с ограниченными полосами пропускания. Такому каналу с помощью преобразования Фурье можно поставить в соответствие ИХ [1, 2].

Нами рассматривался случай фазовой дисперсии, когда фазо-частотную характеристику (ФЧХ) канала можно представить в виде разложения в ряд Тейлора третьей степени.

В таком случае нелинейная составляющая ФЧХ имеет вид

$$\chi_0(\alpha) = \phi_0(\alpha) + \psi_0(\alpha), \quad (1a)$$

$$\phi_0(\alpha) = \frac{\pi \cdot s \cdot B^2 \cdot \alpha^2}{4}, \quad (1б)$$

$$\psi_0(\alpha) = \frac{\pi \cdot v \cdot B^3 \cdot \alpha^3}{24}, \quad (1в)$$

где $\phi_0(\alpha)$ – квадратичная составляющая фазы; $\psi_0(\alpha)$ – кубическая составляющая фазы; $\chi_0(\alpha)$ – нелинейная составляющая фазы; s – параметр дисперсии 2-го порядка; v – параметр дисперсии 3-го порядка; B – полоса канала; α – нормировочный коэффициент.

Если ФЧХ строго линейна относительно частоты, полоса сигнала не превышает полосу канала, то в таком канале сам сигнал и импульсная характеристика (ИХ) просто смещаются на время группового запаздывания, а огибающая ИХ имеет вид кривой 1 на рисунке 1.

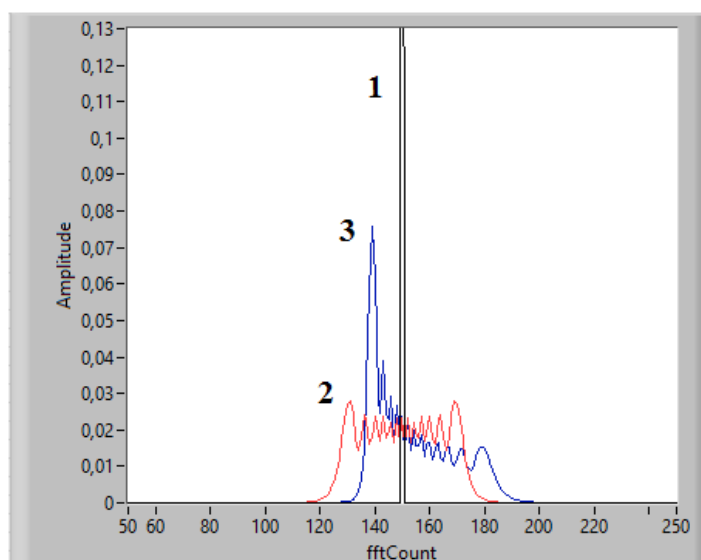


Рисунок 1 – Форма импульсной характеристики канала

Дисперсионные искажения проявляются, когда ДХ зависит от частоты. ИХ уже принимает вид кривой 2 на рисунке в случае учёта квадратичной составляющей ФЧХ и вид кривой 3 в случае учёта квадратичной и кубической составляющей. Таким образом дисперсия разрушает канал и искажения в нём становятся весьма существенными.

Определение частотной зависимости задержки в среде при вертикальном и наклонном распространении. При решении задачи получения частотной зависимости задержки в среде для случая вертикального зондирования (ВЗ) использовалась формула, полученная [3] для обыкновенной волны в модели параболического слоя, которая имеет вид:

$$\tau_e(f) = \frac{2h_0}{c} + \frac{y_m}{c} \frac{f}{f_k} \ln \frac{f_k + f}{f_k - f}, \quad (1)$$

где $f_k[\text{кГц}] = \sqrt{80,8 N_m [\frac{\text{эл}}{\text{см}^3}]} \approx 9 \sqrt{N_m}$ – критическая частота слоя; N_m – электронная концентрация в максимуме слоя; h_0 – высота нижней границы слоя; y_m – полутолщина слоя.

Критическая частота слоя находилась по максимальному значению концентрации, из заданных моделью IRI значений [4, 5]. Параметры модели приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры модельной ДХ при вертикальном зондировании ионосферы

Дата и время проведения эксперимента	КТЗ	Sunspot number (Rz12)	Высота максимума F2 слоя, км	Критическая частота F2 слоя, МГц	Полутолщина F2 слоя, км
25.04.2017 г. 15:00 UT	г. Йошкар-Ола (56°37'N; 47°53'E)	41	270,4	5,343	90

Пример частотной зависимости группового запаздывания (задержки) при вертикальном зондировании для моды 1F2 приведен на рисунке 2.

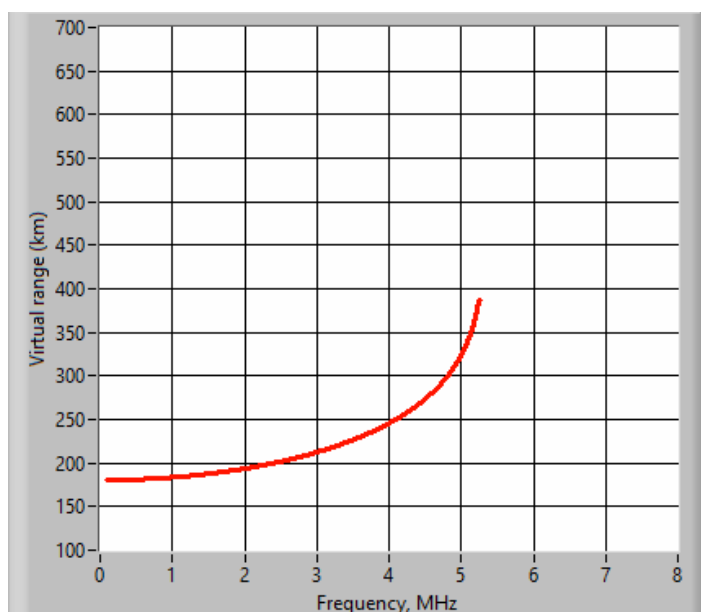


Рисунок 2 – Пример частотной зависимости задержки при ВЗ для моды 1F2

Полученную для ВЗ зависимость пересчитывали [5,6] на случай наклонного распространения с использованием формул (10) и (11).

$$f_n = f_g \sqrt{1 + \left[\frac{2R_s \sin \frac{D}{2R_s}}{c\tau_g + 2R_s(1 - \cos \frac{D}{2R_s})} \right]^2}, \quad (2)$$

$$\tau_n = \left(\tau_g + \frac{2R_s}{c} (1 - \cos \frac{D}{2R_s}) \right) \sqrt{1 + \left[\frac{2R_s \sin \frac{D}{2R_s}}{c\tau_g + 2R_s(1 - \cos \frac{D}{2R_s})} \right]^2}, \quad (3)$$

где f_n – частота для эквивалентного наклонного распространения; τ_n – задержка для эквивалентного наклонного распространения; f_g – частота для вертикального распространения; τ_g – задержка для вертикального распространения; D – протяженность трассы; c – скорость света; R_s – радиус Земли.

При нахождении частотных зависимостей для скачковых мод высокой кратности использовался метод равных скачков [6]. Параметры модели приведены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры модельной ДХ при наклонном зондировании ионосферы

Дата и время проведения эксперимента	25.04.2017 г. 15:00 UT
КТЗ	г. Нижний Новгород (56°19' N; 44°00' E)
Протяжённость трассы	2640 км
Sunspot number (Rz12)	41
Высота максимума F2 слоя	267,8 км
Критическая частота F2 слоя	5,337 МГц
Полутолщина F2 слоя	90 км
Высота максимума E слоя	110 км
Критическая частота E слоя	2,162 МГц
Полутолщина E слоя	60 км

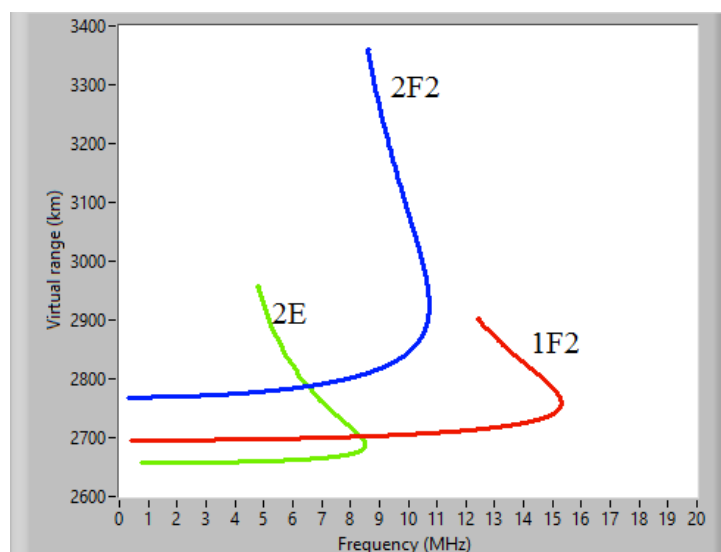


Рисунок 3 – Пример частотной зависимости задержки при НЗ для мод 2E, 1F2, 2F2

Примеры частотных зависимостей группового запаздывания (задержки) при наклонном зондировании (НЗ) радиотрассы о. Кипр – г. Йошкар-Ола для мод 2E, 1F2, 2F2 приведены на рисунке 3.

Исследование дисперсионных искажений спектров непрерывного ЛЧМ сигнала. Для синтеза спектров элементов сигнала разностной частоты для различных средних частот элементов зондирующего сигнала с учетом фазовых дисперсионных искажений использовалась следующая методика [6-8].

Вначале синтезировалась частотная зависимость задержки для различных механизмов распространения ЛЧМ сигнала на основе данных, полученных из модели IRI в контрольной точке зондирования. Затем выбирался один из механизмов распространения (лучей) и задавалась полоса элемента зондирующего сигнала Δf .

Далее выбирался шаг по частоте, с которым будет изменяться средняя частота спектра выборочного элемента сигнала.

Перебирая среднюю частоту в диапазоне «прозрачности» выбранного мода распространения сигнала, строили с заданным шагом модули спектров сигнала разностной частоты (в логарифмическом масштабе значений амплитуды), которые отображались на плоскости ($f = \dot{f}t$, $\tau = F / \dot{f}$). Трехмерное изображение этой зависимости будет давать представление о дисперсионных искажениях треков ионограммы наклонного зондирования.

Примеры искажённых дисперсией треков ионограмм вертикального и наклонного зондирования радиотрасс г. Йошкар-Ола – г. Йошкар-Ола и о. Кипр – г. Йошкар-Ола представлены на рисунке 4.

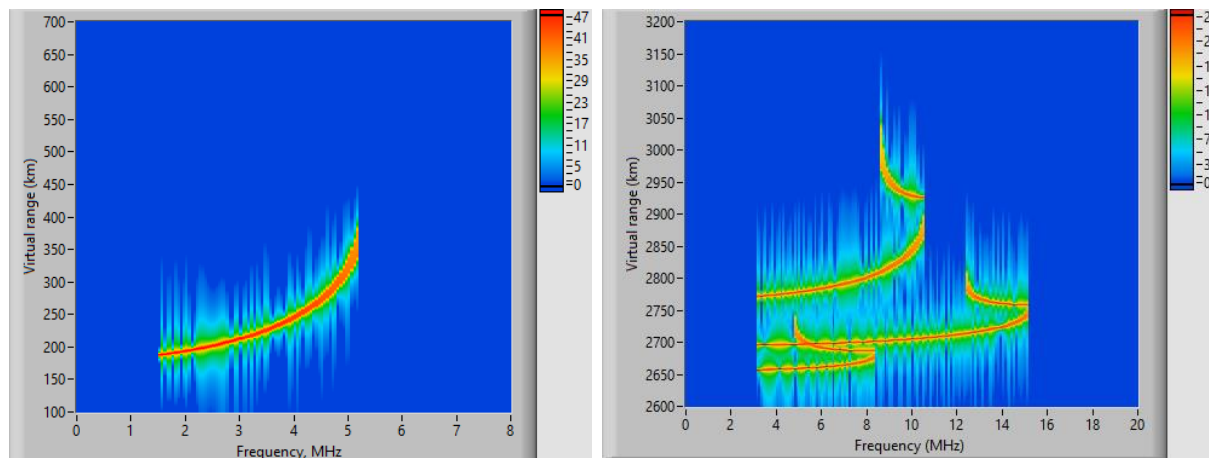


Рисунок 4 – Примеры искажённых дисперсией треков ионограмм ВЗ и НЗ

Дисперсионные искажения растут с увеличением кратности луча. Они меньше при распространении нижними лучами, чем верхними. С приближением к МПЧ, когда увеличивается фазовая дисперсность, растет и ширина трека ионограммы.

Выводы

1. Разработан виртуальный прибор синтеза трёхмерных дисперсионных характеристик с использованием LabVIEW.
2. Проведен вычислительный эксперимент по синтезу частотных зависимостей задержки при ВЗ и НЗ на основе данных модели IRI-2012.

3. Синтезированы трёхмерные ионограммы вертикального и наклонного зондирования ионосферы для случая частотной дисперсии второго и третьего порядков.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ: № 17-07-01590; 17-07-00799

Список литературы

1. Иванов В. А., Иванов Д. В., Рябова М. И. Исследование факторов, приводящих к искажению высокочастотных сигналов с расширенным спектром при их квазизенитном распространении в ионосфере // Электромагнитные волны и электронные системы. 2011. Т. 16, № 8. С. 33-39.
2. Аппаратура частотного обеспечения в адаптивной системе КВ радиосвязи / В. А. Иванов, Н. В. Рябова, В. П. Урядов, В. В. Шумаев // Электросвязь. 1995. № 11. С. 30-32.
3. Гинзбург В. Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. М.: Наука, 1967.
4. Искажение сложных дециметровых радиосигналов в дисперсных ионосферных радиоканалах при квазизенитном распространении / В. А. Иванов, Д. В. Иванов, М. И. Рябова, Сорокин Н. А. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2010. № 1. С. 43-53.
5. Developing methods and software for research the effects of phase dispersion depending of the state of ionosphere based on labview / V. A. Ivanov, D. V. Ivanov, N. V. Ryabova, M. I. Ryabova, A. A. Chernov, V. V. Ovchinnikov // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON 2016). 2016. P. 604-607.
6. Исследования коррекции дисперсионных искажений, возникающих в ионосферных радиоканалах с полосой 1 МГц / Д. В. Иванов, В. А. Иванов, М. И. Рябова, А. Р. Лашевский // Электромагнитные волны и электронные системы. 2008. Т. 13, № 8. С. 58-66.
7. Software-defined radio technology in the problem concerning with the successive sounding of HF ionospheric communication channels / D. V. Ivanov, V. A. Ivanov, N. V. Ryabova, A. A. Elsukov, M. I. Ryabova, A. A. Chernov // Journal of Communications Technology and Electronics. 2016. Т. 61, № 7. С. 767-775.
8. Исследование влияния параметров трехмерной характеристики ВЧ-сигналов в канале радиосвязи для радиолиний различной протяженности / К. Н. Соловьева, В. В. Овчинников, А. А. Чернов, М. И. Рябова // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России. 2016. № 3. С. 91-94.

MODELING AND PROCESSING OF THREE-DIMENSIONAL IONOGRAMS OF VERTICAL AND OBLIQUE SOUNDING OF HF RADIO CHANNELS

¹Ryabova Maria Igorevna, ²Ovchinnikov Vladimir Viktorovich, ²Lashchevsky Alexey Romanovich

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow

²Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

We studied the effects of phase dispersion of propagation for broadband elements of a FMCW signal with various average spectrum frequencies corresponding to the average frequencies of radio channels. We used the International Reference Ionosphere Model for the synthesis of the frequency dependences of the delay. Three-dimensional ionograms of vertical and oblique ionospheric sounding were synthesized in the case of second- and third-order dispersion.

Keywords: *ionosphere, dispersion, chirp signal, radio channel, dispersion distortions.*

УДК 681.532.55

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ НА БАЗЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Шестакова Наталья Витальевна, Буканова Татьяна Сергеевна

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

Рассмотрены наиболее широко распространенные электроприводы технологических машин для управления движением исполнительными механизмами. На их базе предложена структура универсального мехатронного модуля управления движением для различных типов электрических машин.

Ключевые слова: электропривод, электрическая машина, мехатронная система, мехатронный модуль, система управления.

Введение. Мехатроника – это новая область науки и техники, посвященная созданию и эксплуатации машин и систем с компьютерным управлением движения, которая базируется на знаниях в области механики, электроники и микропроцессорной техники, информатики и компьютерного управления движением машин и агрегатов [1].

Базовыми объектами изучения мехатроники является мехатронный модуль, который выполняет движения по одной управляемой координате. Из таких модулей komponуются сложные системы модульной архитектуры. Мехатронные модули могут объединять в одном корпусе несколько компонентов, например, двигатель, редуктор и датчики [1].

Мехатронная система – единый комплекс электромеханических, электрогидравлических, электронных элементов и средств вычислительной техники, между которыми осуществляется постоянный динамически меняющийся обмен энергией и информацией, объединенный общей системой автоматического управления [2].

В отличие от классического модуля электромеханического движения в разрабатываемом мехатронном модуле применено электромеханическое устройство, которое выбирается под конкретную решаемую задачу. Например, могут быть использованы электромеханические преобразователи нетрадиционной конструкции в двухроторном [3] или торцевом исполнении.

Использование в модуле измерительных преобразователей, зачастую встроенных в используемые устройства вместо классических сенсоров, позволяет укоротить электрические и информационные потоки и повысить степень интеграции модуля.

В современных мехатронных системах для реализации высокого качества и точности движения применяются методы интеллектуального управления. Данная группа методов опирается на новые идеи теории управления современным аппаратным и программным средством вычислительной техники, перспективные подходы к синтезу управляемого движения мехатронных систем [4].

Исходя из вышеизложенного, проектирование структуры универсального мехатронного модуля управления движением и его систем для различных электрических машин в зависимости от конкретной задачи управления и характеристики требуемого

движения выступает актуальной задачей, имеющей существенное значение для таких отраслей, как медицина, роботостроение и т.д.

Целью работы является совершенствование и унификация современного оборудования на базе мехатронных модулей управления движением.

Задача исследования – разработка универсальной структуры системы управления мехатронного модуля для различных типов электрических машин.

Современное состояние систем управления электроприводом. Вентильно-индукторный двигатель (ВИД) – относительно новый тип электромеханического преобразователя энергии, который сочетает в себе свойства и электрической машины, и интегрированной системы регулируемого электропривода (рис. 1).

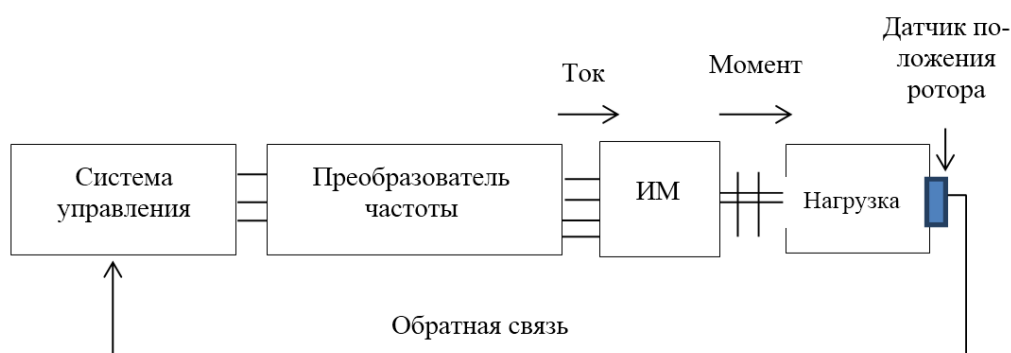


Рисунок 1 – Структурная схема вентильно-индукторного электропривода

В его состав входят: индукторная машина (ИМ), преобразователь частоты, система управления и датчик положения ротора (ДПР). Преобразователь частоты обеспечивает питание фаз ИМ однополярными импульсами напряжения прямоугольной формы; ИМ осуществляет электромеханическое преобразование энергии, система управления в соответствии с заложенным в нее алгоритмом и сигналами обратной связи, поступающими от датчика положения ротора, управляет данным процессом.

Такой электропривод обеспечивает преобразование электрической энергии, которая поступает от питающей сети, в механическую энергию, передаваемую в нагрузку, дает возможность осуществлять управление процессом в соответствии с особенностями конкретной нагрузки: регулировать частоту вращения, момент, мощность и так далее [6].

Следящие электроприводы строятся на основе двигателя постоянного тока – замкнутые электроприводы, управляющие перемещением и обеспечивающие стабилизацию положения объекта регулирования относительно некоторой базовой системы координат. Следящие электроприводы могут обеспечивать как линейное, так и угловое перемещение регулируемого объекта. Функциональная схема следящего электропривода представлена на рисунке 2, здесь следующие функциональные элементы: РП – регулятор положения; РС – регулятор скорости; РТ – регулятор тока; Д – двигатель; ОР – объект регулирования; ДУ, ДС, ДТ – датчики соответственно положения, скорости и тока. Электропривод содержит три контура регулирования: положения, скорости и тока.

Внешний контур содержит датчик положения объекта относительно базовой системы координат. Это может быть датчик углового положения или любой датчик линейного перемещения. Сигнал с выхода ДУ сравнивается с управляющим сигналом U_0 , определяющим положение объекта. По результату сравнения РП вырабатыва-

ется сигнал U_{pc} регулирования скорости, который, в конечном счете, обеспечивает вращение двигателя и перемещение ОР – на заданный угол или расстояние.

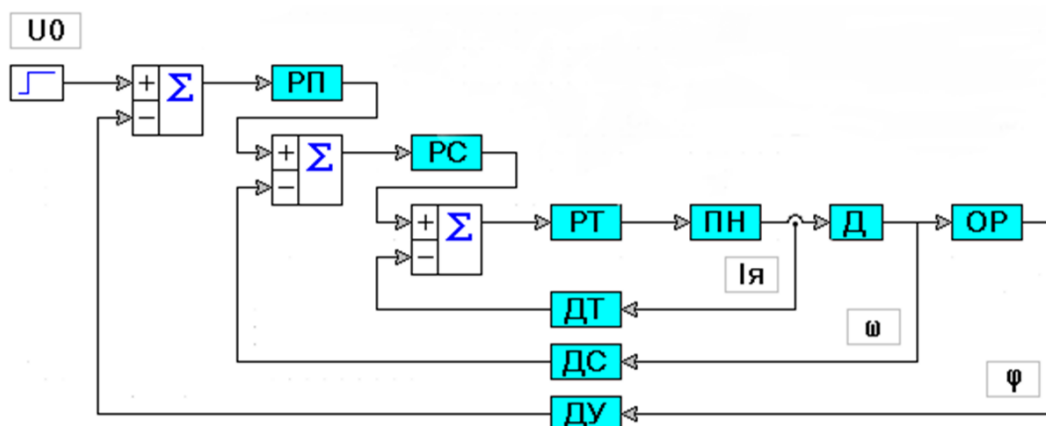


Рисунок 2 – Функциональная схема следящего электропривода

В следящем электроприводе различают два режима работы: позиционирования, когда привод обеспечивает перемещение рабочего органа из одного исходного положения в другое за время не больше заданного, и слежения: привод обеспечивает перемещение рабочего органа в соответствии с управляющим воздействием, изменяющимся по произвольному закону, при ошибке, не превышающей заданного значения [7].

Электроприводом переменного тока называется электромеханическая система, предназначенная для приведения в движение рабочих органов машин и механизмов, управления их технологическим процессом.

Функциональная схема электропривода переменного тока представлена на рисунке 3.

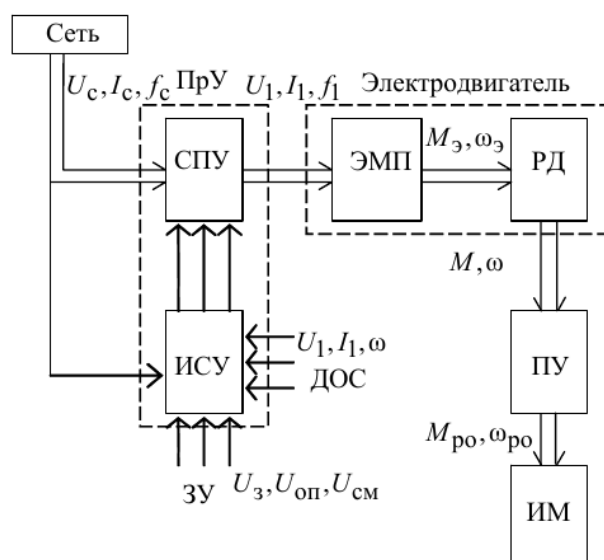


Рисунок 3 – Функциональная схема электропривода переменного тока

Электропривод содержит: ПрУ – преобразовательное устройство; СПУ – силовое преобразовательное устройство; ИСУ – информационная система управления; ЭМП –

электромеханический преобразователь; РД – ротор двигателя; ПУ – передаточное устройство; ИМ – рабочий орган исполнительного механизма; ЗУ – задающие устройства; ДОС – датчик обратной связи; U_c , f_c , I_c – напряжение, частота и ток, потребляемый электроприводом из сети; U_1 , f_1 , I_1 – напряжение, частота и ток обмоток статора двигателя переменного тока; M_3 , ω_3 – электромагнитный момент и скорость вращения магнитного поля, созданного обмотками статора; M , ω – момент и скорость вращения двигателя; M_{po} , ω_{po} – момент и скорость вращения рабочего органа исполнительного механизма; U_3 , $U_{оп}$, $U_{см}$ – задающие сигналы: задающее напряжение, опорное напряжение, напряжение смещения.

Электрический двигатель состоит из двух частей: электромеханического преобразователя энергии (ЭМП), преобразующего электрическую энергию в электромагнитную, и ротора двигателя (РД), в котором электромагнитная энергия преобразуется в механическую. Двигатель развивает момент M на валу ротора, который вращается с угловой скоростью ω . ПУ предназначены для передачи механической энергии от электродвигателя к ИМ и согласования вида и характера движения электродвигателя и рабочего органа исполнительного механизма [8].

Структура универсального мехатронного модуля управления движением. На основе рассмотренных структур наиболее распространенных электроприводов технологических машин предложена структура универсального мехатронного модуля. Сущность мехатронного подхода к проектированию состоит в объединении в единый приводной модуль составляющих элементов. Структурная схема мехатронного модуля представлена на рисунке 4.



Рисунок 4 – Структурная схема мехатронного модуля

На вход мехатронного модуля поступает информация о цели движения, которое формируется верхним уровнем системы управления, а выходом является целенаправленное мехатронное движение конечного звена, например, перемещение выходного вала модуля.

Для физической реализации электромеханического мехатронного модуля теоретически необходимы четыре основных функциональных блока последовательно соединенные: информационно-электрический и электромеханический функциональный преобразователи в прямой цепи и электро-информационный и механико-информационный преобразователи в цепи обратной связи.

Понятие «интерфейс» является ключевым для проектирования мехатронных модулей и систем. Взаимодействие основных устройств в мехатронной системе осуществляется не напрямую, а через некоторые соединительные блоки. С физической и технической точки зрения это могут быть совершенно различные устройства, однако

они имеют одинаковое функциональное назначение. Их главная функция – это выполнение энергетического и информационного обмена между сопрягаемыми структурными элементами системы. Место интерфейса в структуре мехатронной системы задается связями с входными и выходными устройствами.

Технические характеристики интерфейса определяются способом и процедурой передачи (при необходимости – преобразования, хранения и синхронизации) воздействий, сигналов и информации, а также аппаратно-программной реализацией используемых каналов связи. Основные интерфейсы и их характеристики представлены и подробно рассмотрены в таблице [5].

Основные интерфейсы мехатронной системы

Устройство на входе	Устройство на выходе	Передаваемые воздействия / сигнала / информация
Человек-оператор или компьютер верхнего уровня	Устройство компьютерного управления	Цель движения
Устройство компьютерного управления	Силовые электронные преобразователи	Сигналы управления приводом
Силовые электронные преобразователи	Исполнительные двигатели	Управляющие напряжения
Исполнительные двигатели	Механическое устройство	Движущие силы и моменты
Механическое устройство	Информационное устройство	Информация о состоянии механического устройства
Исполнительные двигатели	Информационное устройство	Информация о состоянии двигателей
Информационное устройство	Устройство компьютерного управления	Сигналы обратной связи

Выводы. Главными преимуществами мехатронных систем являются исключение многоступенчатого преобразования энергии и информации, упрощение кинематических цепей и, следовательно, высокая точность и улучшенные динамические характеристики, конструктивная компактность модулей, а значит, улучшенные массогабаритные характеристики.

Кроме того, это возможность объединения мехатронных модулей в сложные мехатронные системы и комплексы, допускающие быструю реконфигурацию, относительно низкая стоимость установки, настройки и обслуживания системы, благодаря модульности конструкции, унификации аппаратных и программных средств, способность выполнять сложные движения, благодаря применению методов адаптивного и интеллектуального управления.

Список литературы

1. Электроника. Электронная библиотека [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://emkelektron.webnode.com>
2. Готлиб Б. М., Вакалюк А. А. Введение в специальность «Мехатроника и робототехника»: курс лекций. Екатеринбург: УрГУПС, 2012. 134 с.
3. Буканова Т. С., Алиев М. Т. Синтез системы управления электрической машиной с двумя степенями свободы // Автоматизированные технологии и производства. 2016. № 3(13). С. 4-10.
4. Егоров О. Д., Подураев Ю. В. Мехатронные модули. Расчет и конструирование: учебное пособие. М.: МГТУ «СТАНКИН», 2004. 360 с.
5. Артыков Э. С., Румянцев В. Н., Вартанян С. П. Полиграфические машины: от электро-механики к мехатронике [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://compuart.ru/article/25252>

6. Вентильно-индукторный двигатель. Общие сведения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elmech.mpei.ac.ru/>

7. Воронин С. Г. Электропривод летательных аппаратов: учебное пособие [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://model.exponenta.ru>

8. Чернышев А. Ю., Дементьев Ю. Н., Чернышев И. А. Электропривод переменного тока: учебное пособие [Электронный ресурс]. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. 213 с. Режим доступа: <https://docviewer.yandex.ru/>

DEVELOPMENT OF STRUCTURE OF THE MEKHATRONNY MODULE OF TRAFFIC CONTROL ON THE BASIS OF ELECTRICAL MACHINES

Bukanova Tatiana Sergeevna, Shestakova Natalya Vitalyevna

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The most widespread electric drives of technological machines for traffic control are considered by the executive mechanisms. On their basis the structure of the universal mekhatronny module of traffic control for different types of electrical machines is offered.

Keywords: *electric drive, electrical machine, mekhatronny system, mekhatronny module, management system.*

ТРАНСПОРТ. ЭНЕРГЕТИКА. МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 628.3

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Алибеков Сергей Якубович, Сютова Анна Игоревна,
Кутонова Екатерина Васильевна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
KutonovaEV@volgatech.net

Работа посвящена проблеме очистки нефтесодержащих сточных вод сорбционным способом. Для сорбционной очистки используются различные природные и искусственные материалы, способные обеспечить высокую степень очистки. Актуален поиск новых эффективных и доступных сорбентов. Сорбция на УВМ нефтесодержащих сточных вод изучена недостаточно, несмотря на появление в последнее время большого числа УВМ и АУВМ, обладающих улучшенными сорбционными свойствами. Авторами проведено исследование сорбционной активности углеродных волокнистых материалов различных марок и производителей для сорбции нефтепродуктов из сточных вод.

Ключевые слова: *сточные воды, сорбция, углеродные волокнистые материалы, нефтепродукты.*

Введение. Нефть и нефтепродукты являются особой группой загрязняющих веществ. Попадая в воду, нефтяные пятна способны растекаться по поверхности водоема, образуя нефтяные пленки, препятствующие проникновению в воду кислорода, а также удалению из воды углекислоты. Влияние нефтепродуктов на живые организмы проявляется в болезнях, нарушении физиологической активности, изменениях в биологических особенностях среды обитания. Накопление их на дне водоемов может привести к созданию анаэробных условий и вторичному загрязнению водоема. Растворимость нефти в воде незначительна, разрушение нефтепродуктов водными организмами происходит медленно, поэтому очистка водоемов и нефтесодержащих сточных вод от загрязнений является актуальной задачей.

Нефтяные загрязнения гидросферы происходят не только в результате аварийных выбросов, но и в результате деятельности нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий, нефтебаз, автозаправочных станций, автомоек, попадания ливневых стоков с автодорог в городскую канализацию и т.д. В настоящее время большое внимание уделяется проблеме экологической безопасности производств. Нефтяные пленки затрудняют очистку промышленных сточных вод. Перед очисткой сточных вод от загрязняющих компонентов их приходится удалять, поскольку химические реакции,

идущие между реагентами, применяемыми для очистки сточных вод и загрязняющими компонентами, ингибируются.

В настоящее время на городских очистных сооружениях широко применяется биологический метод очистки сточных вод с использованием активного ила, содержащего микрофлору, с барботацией воздуха. При очистке сточных вод часть кислорода расходуется на разложение нефтяной пленки, что приводит к увеличению времени очистки. Многие тяжелые металлы при очистке выпадают в осадок в виде оксосолей. Уменьшение содержания кислорода снижает скорость образования солей и выпадения в осадок. Тем самым уменьшается коэффициент очистки сточных вод от загрязняющих компонентов.

Очистка сточных вод от загрязнений становится проблемой для всех промышленных предприятий, использующих водные объекты в своих технологических процессах. Качество очистки сточных вод во многом определяет состояние природных водных объектов, существенно влияет на качество питьевой воды.

Для очистки воды от нефти и нефтепродуктов применяются различные методы очистки: механические, химические, физико-химические, биохимические. Применение того или иного метода зависит от источника и масштабов загрязнения, объема нефтепродуктов и других факторов.

Среди большого числа известных способов очистки сточных вод большой интерес представляет сорбция как один из наиболее эффективных и дешевых способов очистки. При многоступенчатой организации процесса, возможно, обеспечить очистку до любого требуемого уровня.

К преимуществам сорбции относят: возможность удаления загрязнений широкой природы практически до любой остаточной концентрации, отсутствие вторичных загрязнений и управляемость процессом. Обилие существующих сорбентов, а также появление и поиск новых определяют актуальность научных исследований в данной области.

В качестве сорбентов используются природные, искусственные и синтетические материалы. Актуален поиск сорбентов, обладающих улучшенными сорбционными характеристиками и повышенной нефтеемкостью, доступных и недорогих, пригодных для многократного использования. Ведутся работы, включающие не только поиск новых сорбентов, но и направленные на повышение сорбционной способности и улучшение сорбционных характеристик известных сорбентов. Особый интерес представляют экологически безопасные технологии, безотходное производство, а также технологии, направленные на использование отходов одной отрасли производства в других отраслях.

Целью настоящей работы является исследование сорбционных свойств углеродных волокнистых сорбентов для повышения эффективности и качества очистки нефтесодержащих сточных вод. Используемые в качестве сорбентов углеродные волокнистые материалы способны удерживать широкий спектр загрязняющих веществ, в том числе ионы тяжелых металлов и все виды нефтепродуктов.

Задачей данной исследовательской работы являлось определение сорбционной активности исследуемых видов углеродных волокнистых материалов для сорбции нефтепродуктов и разработка эффективного способа очистки сточных вод на основании полученных данных.

В качестве сорбентов нефти и нефтесодержащих веществ в настоящее время широко используются природные вещества на растительной и минеральной основе:

опилки, древесные стружки и мука, хлопок, торф, мох, пенька, солома, глина, перлит и др. Эти сорбенты не требуют затрат на производство и, являясь природными материалами, легко разлагаются, доступны в достаточном объеме, но нефтеемкость их зачастую невысока, регенерация отсутствует или рассчитана на небольшое число циклов, вследствие чего природные сорбенты имеют небольшой ресурс работы. Также применение этих сорбентов затруднено вследствие низкой и непродолжительной плавучести.

Эти недостатки частично компенсируют дополнительной обработкой сорбентов различными гидрофобизаторами, полимерами и другими веществами [1]. Известен сорбент для очистки воды на основе твердого материала, где в качестве твердого материала используют вермикулит, который обжигают вместе с парафином. Наиболее близким к изобретению является устройство для удаления нефтяного пятна, содержащее сорбент и проницаемую оболочку [2]. Недостатками такого сорбента являются трудность хранения и транспортировки, невозможность использования при пожаре. Кроме того, для повышения плавучести его предварительно обрабатывают водоотталкивающим материалом.

Сорбенты на искусственной и синтетической основе более эффективны и технологичны. Они изготавливаются на основе вискозы, гидратцеллюлозы, синтетических волокон, термопластических материалов, пенополиуретана и др. Для очистки от нефти и нефтепродуктов используются чаще всего в дисперсном и гранулированном видах. Эти материалы по сравнению с природными материалами обладают повышенной нефтеемкостью, более продолжительным ресурсом работы, способностью к многократной регенерации, однако требуют иногда немалых затрат на изготовление, что в некоторой степени компенсируется возможностью привлечения промышленных отходов других производств для их создания.

В последнее время промышленностью выпускаются углеродные волокнистые материалы (УВМ) и активированные углеродные волокнистые материалы (АУВМ) – это уникальные сорбенты, используемые во многих областях промышленности и техники. УВМ и АУВМ являются синтетическими сорбентами на основе активных углей, гидратцеллюлозы и вискозных волокон, полиакрилонитрильного (ПАН) волокна, фенолформальдегидных смол. Содержание углерода в них составляет 85 % и более.

Авторы [1] отмечают недостаток данных о применении волокнистых материалов для очистки нефтесодержащих сточных вод, однако считают, что УВМ, полученные из различного сырья в разных условиях, являются хорошими сорбентами для сорбционной очистки воды.

Углеродные волокнистые материалы считают материалами будущего. Заложенные в них потенциальные возможности еще далеко не использованы, поэтому в будущем предполагается значительное расширение областей их применения и объемов потребления [3].

Для придания особых свойств и специфической сорбционной активности проводят модификацию УВМ (физическая или химическая обработка). Известны технологии изготовления УВМ из отходов [4, 5].

Нами проведены исследования сорбционной активности УВМ по отношению к нефтепродуктам и маслам [6, 7].

Предметом исследования являлись образцы УВМ различных марок. Исследования по сорбции нефтепродуктов (керосина и бензина с примесью машинного масла)

проводились на образцах УВМ УВИС-АК-В, УВИС-АК-ТЛ, ТР-3/2. Исследования по сорбции бензина выполнялись также на образцах углеродных материалов ТМ-4, ЛТ-1-22/40, С-4.

В качестве метода исследования был применен химический эксперимент.

Техника эксперимента: образцы УВМ погружались в исследуемый раствор, содержащий воду с примесью нефтепродуктов. Эффективность сорбции оценивалась по изменению объема масляной фракции раствора. При этом учитывалась масса сухих и влажных образцов (до и после сорбции), оценивалась возможность вторичного и многократного их использования: после проведенного эксперимента образцы УВМ поджигали, а затем вновь использовали в последующих экспериментах.

Статическую обменную емкость (СОЕ) рассчитывали по формуле

$$\text{СОЕ} \cdot g + V \cdot C_{\text{равн.}} = V \cdot C_{\text{исх.}}$$

где g – масса ткани, г;

V – объем приливаемой к сорбенту воды, л;

$C_{\text{равн.}}$ – равновесная (остаточная) концентрация нефтесодержащих веществ, мл/л;

$C_{\text{исх.}}$ – исходная концентрация нефтесодержащих веществ, мл/л.

Расчет статической обменной емкости сорбента нами проводился по стандартной методике, разработанной НИИ Минерального сырья «СТО РосГео 08-002-98 Технологические методы исследования минерального сырья». Сорбция в статических условиях осуществлялась путем перемешивания воды с бензином и керосином. При однократном введении сорбента в количестве g , г на определенный объем воды нефтепродуктами статическая объемная емкость при заданных условиях эксперимента рассчитывалась по уравнению баланса

$$\text{СОЕ} = \frac{(C_{\text{исх.}} - C_{\text{равн.}})V}{g}$$

Степень извлечения бензина, керосина из воды, %

$$E = \frac{(C_{\text{исх.}} - C_{\text{равн.}})}{C_{\text{исх.}}} \cdot 100 \%$$

Полученные результаты эксперимента представлены в таблицах 1-3.

Таблица 1

Степень поглощения керосина

Тип УВМ	Масса образца до сорбции, г	Масса образца после сорбции*, г	Исходный объем керосина, мл	Удержано керосина	
				мл	%
УВИС-АК-В	1,04	10,72	25	13	52
УВИС-АК-ТЛ	1,12	3,58	25	5	25
ТР-3/2	1,02	3,63	25	5	25

Таблица 2

Степень поглощения бензина

Тип УВМ	Масса образца до сорбции, г	Масса образца после сорбции*, г	Исходный объем бензина, мл	Удержано бензина	
				мл	%
УВИС-АК-В	1,04	10,43	25	23	92
УВИС-АК-ТЛ	1,13	3,77	25	14	56
ТР-3/2	1,06	3,45	25	15	60

Таблица 3

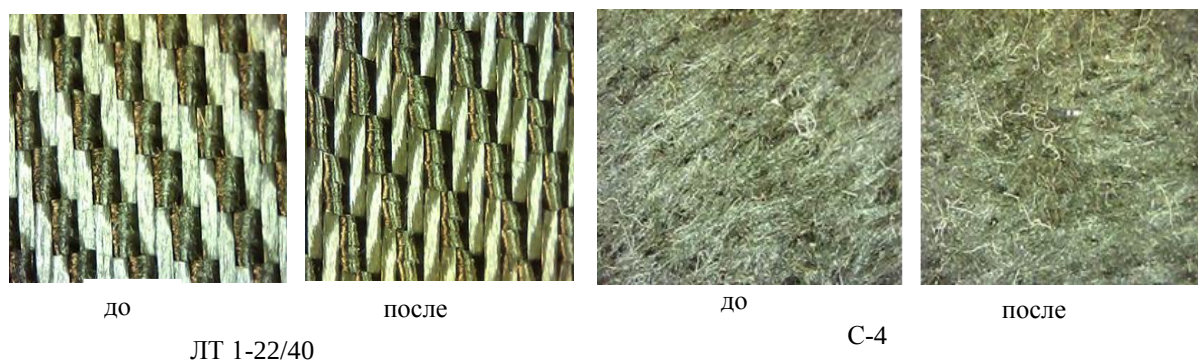
Степень поглощения бензина образца ТМ-4

	Масса до сорбции, г	Масса после сорбции*, г	Исходный объем бензина, мл	Удержано бензина, мл	
				мл	%
ТМ-4	1,1	2,25	16	10	62,5
ЛТ-1-22/40	1,1	1,75	16	8	50
С-4	1,1	9,03	16	11	68,75

* Масса влажных образцов (после сорбции) уменьшалась в течение нескольких минут за счет испарения летучих фракций нефтепродуктов и частичного испарения воды.

Анализ результатов. Эффективность сорбции бензина на образцах УВМ УВИС-АК-В, УВИС-АК-ТЛ, ТР-3/2 составила 56-92 %, керосина – 25-52 %. Лучшие результаты получены на образце УВИС-АК-В. Эффективность сорбции бензина на образцах ТМ-4, ЛТ-1-22/40 и С-4 составила 88-98 %. Эти образцы подвергались регенерации (выжигание нефтесодержащих компонентов) и использовались вторично. Степень поглощения бензина при этом практически не изменилась, как и масса исследуемых образцов.

Нами установлено, что сорбционная емкость углеродных тканей после трехкратной регенерации путем выжигания поглощенного бензина практически не изменилась. Замечено, что после трехкратной регенерации горение бензина идет медленно и с выделением копоти. Образование копоти, на наш взгляд, связано с тем, что на ткани остается сажа после предыдущих регенераций. Структура УВМ практически не пострадала (см. рисунок).



Структура образцов УВМ до и после сорбции нефтепродуктов

Как видно на рисунке, структура до сорбции и после трехкратной сорбции и регенерации практически не изменилась как у ткани ЛТ1-22/40, так и у нетканой углеродной ткани С-4.

Выводы и рекомендации. В ходе проведенной работы было экспериментально установлено, что углеродные волокнистые материалы как тканые, так и нетканые по структуре могут успешно применяться для очистки водной среды от нефтепродуктов. Эффективность сорбции исследуемыми видами УВМ выше многих известных на сегодняшний день сорбентов за счет более развитой удельной поверхности, которая главным образом определяет его нефтеемкость.

Исследуемые сорбенты без видимых повреждений выдерживают температуру сжигания нефтесодержащих компонентов, сохраняя свои сорбционные свойства, имеют более высокую (по сравнению с природными и известными синтетическими

сорбентами) степень насыщения, длительный срок эксплуатации и легко подвергаются регенерации.

По сравнению с современными способами очистки воды от нефтепродуктов способ с использованием углеродных волокнистых материалов является наиболее выгодным как в экономическом, так и в экологическом плане.

Способ очистки сточных вод с использованием углеродных волокнистых материалов является комплексным, т.к. УВМ способны сорбировать ионы тяжелых металлов, окрашенные вещества и другие загрязнители, что существенно расширяет их потенциал при использовании в качестве сорбентов для очистки сточных вод.

Сорбционная очистка на УВМ не требует введения в воду дополнительных химических реагентов. Углеродные ткани легко подвергаются регенерации, сорбированные нефтепродукты можно использовать в качестве дополнительных источников тепловой энергии, так как они хорошо горят, не повреждая структуру ткани и не снижая сорбционные свойства.

Список литературы

1. Сироткина Е. Е., Новоселова Л. Ю. Материалы для адсорбционной очистки воды от нефти и нефтепродуктов // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. № 13. С. 359-377.
2. Пат. 2050972 РФ, МПК: 6В 01J 20/20 А, 6С 02F 1/28 В. Сорбент для очистки воды от нефти и нефтепродуктов и устройство для очистки воды / Аполлонов В. Н., Ключарев В. А., Коваленко Б. М. RU № 93029200/26. Дата публикации 1995.12.27.
3. Конкин А. А. Углеводородные и другие жаростойкие волокнистые материалы. М.: Химия, 1984. 376 с.
4. Сурков А. А., Глушанкова И. С., Балабенко Н. А. Синтез углеродных сорбентов из отходов поликарбоната методом химической активации // Фундаментальные исследования. 2012. № 9-1. С. 171-175.
5. Термическая переработка полимерных отходов с получением жидкого топлива и наносорбционных углеродных материалов / А. А. Сурков, Р. М. Махлес, И. С. Глушанкова, М. С. Дьяков // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2011. № 7.
6. Алибеков С. Я., Сютова А. И. Исследование сорбционных свойств углеводородных волокон при очистке воды от нефтепродуктов // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Технологическая. 2015. № 3. С. 113-116.
7. Кутонова Е. В., Алибеков С. Я. Очистка водной поверхности от разлившейся нефти // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Технологическая. 2016. № 4. С. 196-201.

SCIENTIFIC INQUIRY THE SORPTION PROPERTIES OF CARBON FIBER MATERIALS

Alibekov Sergey Yakubovich, Syutova Anna Igorevna, Kutonova Ekaterina Vasilievna

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The work is devoted to the problem of clearing oily wastewater with the sorption method. For sorption cleaning various natural and artificial materials are used, which can provide a high degree of purification. It is actual to search for new efficient and accessible sorbents. The sorption of oily wastewater by UVM has not been adequately studied, despite the recent emergence of a large number of UVM and AUMM having improved sorption properties. We carried out a study of the sorption activity of carbon fiber materials of various brands and producers for the sorption of petroleum products from wastewater.

Keywords: *sewage, sorption, carbon fiber materials, petroleum products.*

УДК 621.412

ИССЛЕДОВАНИЕ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ВЫБРОСОВ ЭНЕРГОГЕНЕРИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ С ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ СТИРЛИНГА НА ДРЕВЕСНОМ ТОПЛИВЕ

Анисимов Павел Николаевич, Онучин Евгений Михайлович

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
AnisimovPN@volgatech.net; OnuchinEM@volgatech.net

Представлены результаты теоретического и экспериментального исследований утилизации тепловых выбросов энергогенерирующей установки с газогенераторным двигателем внешнего сгорания на древесном топливе. Методом математического моделирования определены параметры смеси охлаждающего воздуха после холодильника двигателя Стирлинга и дымовых газов, образующихся при сгорании генераторного газа в его нагревателе. Рассчитанные параметры газовой смеси использовались при имитации сушильного агента в эксперименте по утилизации тепловых выбросов двигателя Стирлинга в макете контейнера-сушилки для щепы. В результате установлен оптимальный расход газовой смеси после двигателя Стирлинга в контейнер со щепой предложенной конструкции.

Ключевые слова: двигатель Стирлинга, утилизация тепла, щепа, генераторный газ, сушка.

Введение. Предложено устройство измельчающе-транспортной машины (ИТМ) [1] для производства сухой топливной щепы на лесосеке, способствующее эффективному использованию ресурсов [2]. Машина имеет энергообеспечение от двигателя Стирлинга, тепловые выбросы которого предлагается использовать для сушки производимой щепы.

Цель работы – подтверждение эффективности утилизации вторичной тепловой энергии двигателя Стирлинга ИТМ при сушке щепы в контейнере-сушилке предложенной конструкции.

Решаемые задачи:

- 1) определить параметры газовой смеси охлаждающего воздуха и дымовых газов двигателя Стирлинга;
- 2) определить масштабы моделирования экспериментальной установки, применяя теорию подобия и размерности;
- 3) провести экспериментальные исследования сушки щепы в контейнере-сушилке с использованием сушильного агента, имитирующего тепловые выбросы двигателя Стирлинга;
- 4) провести статистическую обработку результатов эксперимента.

Определение параметров сушильного агента при утилизации тепловых потерь двигателя Стирлинга. С целью определения зависимости качественных и количественных параметров сушильного агента от начальных условий, режимов работы и мощности технологического оборудования ИТМ был проведен вычислительный эксперимент.

С помощью метода материального и теплового балансов процесса горения газов определены количество и состав газов в зависимости от начальных условий и режимных параметров работы энергетической установки, а именно: состав, количество, тем-

температура продуктов сгорания; состав, количество, температура газо-воздушной смеси (теплоносителя); необходимый расход охлаждающего воздуха.

Основные начальные условия: состав твердого древесного топлива; температура и влагосодержание окружающего воздуха. Основные параметры работы установки: суммарная нагрузка на валу двигателя Стирлинга; КПД и энергетический баланс двигателя Стирлинга.

Блок-схема вычислительного эксперимента приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Блок-схема вычислительного эксперимента по определению качественных и количественных параметров теплоносителя – смеси дымовых газов и охлаждающего двигателя воздуха

Результаты вычислительного эксперимента представлены в таблице 1. Определяющим параметром является начальная относительная влажность щепы w_0 . Остальные зависимые факторы – влажность газовой смеси φ_{ca} ; расход щепы в контейнер-сушилку $V_{щ}$; расход сушильного агента (газовой смеси) V_{ca} и его температура T_{ca} – определяются значением w_0 и не будут варьироваться в эксперименте независимо.

Таблица 1

Параметры сушильного агента в зависимости от определяющих параметров

№ опыта	w_0 , %	φ_{ca} , %	$V_{щ}$, $\text{дм}^3/\text{с}$	V_{ca} , $\text{дм}^3/\text{с}$	T_{ca} , $^{\circ}\text{C}$
1	47,9	3,2	74	340	125
2	40,8	3,5	71	342	112
3	35,5	3	70	343	109
4	30,8	3,3	68	340	99,8
5	25,2	3,2	68	341	96,5
6	47	2,7	74	299	134
7	41,9	3	71	300	120
8	35,7	2,6	70	300	115
9	31,2	3	68	301	105
10	25,5	2,8	68	301	102
11	47,3	2,2	74	260	145
12	41,5	2,4	71	259	131
13	36,8	2,3	70	260	123

Окончание табл. 1

№ опыта	$w_0, \%$	$\varphi_{ca}, \%$	$V_{из}, \text{дм}^3/\text{с}$	$V_{са}, \text{дм}^3/\text{с}$	$T_{са}, ^\circ\text{C}$
14	31,3	2,2	68	262	117
15	25,3	2	68	260	113
16	47,8	1,8	74	221	157
17	41,5	2	71	220	142
18	35	1,9	70	220	132
19	30,5	2	68	222	123
20	24,9	1,9	68	221	117
21	46,7	1,6	74	180	170
22	42	1,7	71	180	153
23	35,7	1,6	70	180	145
24	30,8	1,5	68	181	138
25	25,8	1,4	68	181	131

Применение теории подобия при моделировании

Для корректного проведения экспериментальных исследований необходимо соблюдение законов подобия [3, 4]. Согласно теории подобия физические процессы, происходящие в реальной установке и опытной модели, будут подобны, если будут равны безразмерные критерии подобия. Следовательно, при проектировании экспериментальной модели контейнера-сушилki и проведении экспериментального исследования процесса сушки необходимо обеспечить равенство критериев подобия.

В эксперименте исследуется процесс тепломассообмена между потоком горячей смеси газов и влажной щепой. То есть частный случай теплопередачи между твёрдым телом и потоком газа, движущимся в канале произвольной формы. Таким образом, в нашем случае критериями подобия будут критерий Рейнольдса, Грасгофа и Нуссельта. Кроме того, необходимо соблюдение механического подобия. Процесс конвективной сушки слоя щепы потоком газа, поступающего снизу, протекает под действием силы тяжести, поэтому можно применить закон подобия Фруда. Число Фруда в нашем случае равно отношению квадрата скорости течения потока v к произведению ускорения свободного падения g на характерный линейный размер l

$$Fr = \frac{v^2}{gl} = \frac{v_M^2}{g_M l_M}, \quad (1)$$

где параметры без индекса соответствуют реальному объекту, а с индексом «М» – модели.

Для обеспечения подобия числа Фруда для модели и реального объекта должны быть одинаковы. Тогда масштаб линейных размеров $\lambda_l = \frac{l}{l_M}$. Размеры моделируемого контейнера-сушилki $l_k = 3,5$ м – длина, $r = 1,4$ м – радиус. Максимальный объем контейнера $V_m := \pi \cdot r^2 \cdot l_k = 21.551 \text{ м}^3$. Максимальный объем загружаемой щепы 18 м^3 . Масштаб линейных размеров модели (рис. 3, поз. 12) – $\lambda_l = 6$.

Рассчитаем критерий Рейнольдса для реальной установки. Для этого определим скорость потока и эквивалентный гидравлический диаметр условных каналов в слое щепы, по которым движется сушильный агент. Поскольку контейнер-сушилka представляет собой горизонтально расположенный цилиндр, то при постоянном расходе сушильного агента скорость потока газа в слое щепы будет зависеть от высоты слоя и соответственно площади живого сечения. Площадь живого сечения $S_a, \text{ м}^2$, равна про-

изведению длины хорды, м, l_x и длины контейнера, м, l_k . Длина хорды и соответственно площадь живого сечения зависят от объема щепы в контейнере. Определим центральный угол α , опирающийся на данную хорду l_x , через объем щепы в контейнере V_{ch} из формулы для площади сектора S_c :

$$S_c = \frac{V_{ch}}{l_k} = \frac{r^2 \cdot (\alpha - \sin(\alpha))}{2}. \quad (2)$$

Выразим угол α , определяющий объем щепы в контейнере, из формулы 2 с помощью функции решения уравнений в Mathcad «solve».

При линейных размерах щепы, оптимальных для использования в газогенераторе и котлах на щепе $l_1 = 0,05$ м, $l_2 = 0,03$ м, $l_3 = 0,015$ м, эквивалентном диаметре частицы щепы $d_e = 0,053$ м получено значение числа Рейнольдса для потока сушильного агента в слое щепы в зависимости от угла α . Результат вычисления представлен на графике (рис. 2).

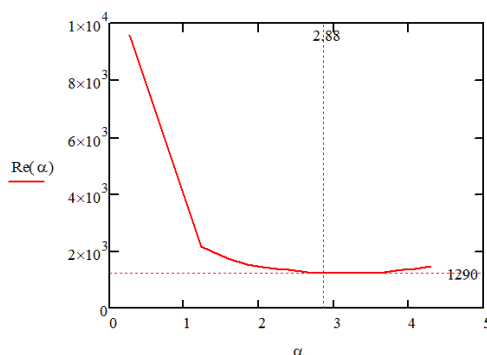


Рисунок 2 – Значение числа Рейнольдса для потока сушильного агента в слое щепы

Найдём значение угла α при объеме щепы, равном половине максимального $V_{ch} = 9$ м³, и соответственно число Рейнольдса при этом значении угла, найдём по графику (см. рис. 2). Видно, что преобладает ламинарный режим течения газа в каналах слоя щепы с переходным режимом течения между турбулентным и ламинарным в нижней части контейнера.

Осуществим подбор параметров экспериментальной установки таким образом, чтобы соблюдалось равенство критериев подобия. Зададим размеры щепы в эксперименте $l_{1M} = 0,025$ м, $l_{2M} = 0,015$ м, $l_{3M} = 0,0075$ м. Соблюдая равенство критерия Рейнольдса, находим скорость потока сушильного агента в эксперименте

$$\omega_M := \frac{(Re \cdot v)}{d_{eM}} = 1.596 \text{ м/с, где } d_{eM} := \sqrt{\frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}} \cdot \left(6 \cdot \frac{l_{1M} \cdot l_{2M} \cdot l_{3M}}{\pi} \right)^{0.33} = 0.027.$$

Соответственно находим необходимый расход сушильного агента в экспериментальной модели $V_{aM} := \omega_M \cdot S_{aM} \cdot \varepsilon = 0.287$ м³/с, где площадь живого сечения в контейнере $S_{aM} := l_{xM} \cdot l_{kM} = 0.264$ м², где длина контейнера $l_{kM} := 0.58$ м, длина хорды, на которую опирается угол α_M $l_x := 2 \cdot r_M \cdot \sin\left(\frac{\alpha_M}{2}\right) = 0.455$ м, радиус контейнера в эксперименте $r_M := 0.23$ м.

Экспериментальная установка представлена на рисунке 3.

Поскольку основным варьируемым независимым фактором, уровнем которого можно управлять в реальном технологическом процессе, является расход сушильного агента, то найдём уравнение регрессии, описывающее влияние этого фактора на снижение влажности щепы в контейнере-сушилке.

На рисунке 4 представлены результаты эксперимента: снижение влажности щепы в сушилке при различных значениях расхода сушильного агента при заданных значениях начальной влажности щепы.

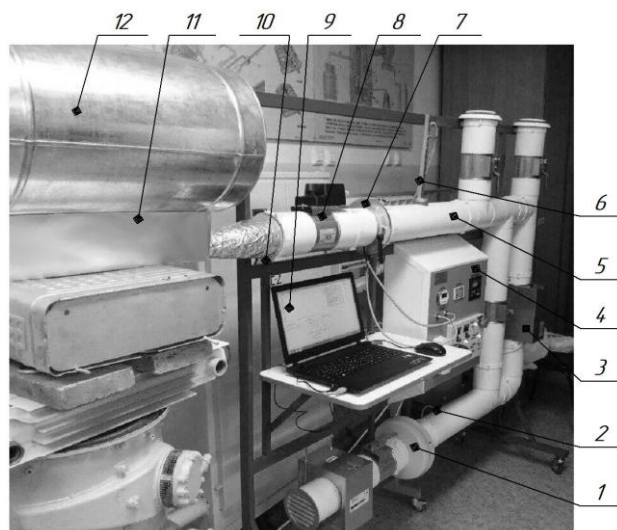


Рисунок 3 – Экспериментальная установка с макетом контейнера сушилки и лабораторным стендом для управления параметрами сушильного агента: 1 – воздушный компрессор; 2 – температурный датчик MBT 153 с термометром сопротивления Pt 100 на входе; 3 – электронагревательный блок регулируемый; 4 – блок ручного управления; 5 – воздухопровод; 6 – трубка пито; 7 – ирисовый клапан; 8 – регулирующая заслонка; 9 – компьютер (автоматическое регулирование и регистрирование данных); 10 – температурный датчик W-CABLE-6/170-3000/GGD-4-A с термометром сопротивления Pt 100 на выходе; 11 – распределительный короб контейнера; 12 – макет контейнера-сушилки

Аппроксимация значений изменений влажности Δw , %, в сушилке произведена в программе Curve Expert с использованием экспоненциального закона [5] функций

$$\Delta w = a \cdot \exp(-b \cdot V_{ca}) + c \cdot V_{ca}^d \cdot \exp(-e \cdot V_{ca}), \quad (3)$$

где a , b , c , d , e – значения коэффициентов представленные в таблице 2.

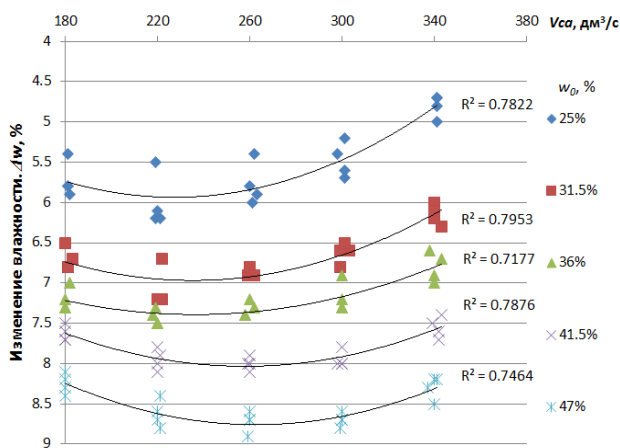


Рисунок 4 – Снижение влажности щепы Δw в контейнере-сушилке в зависимости от V_{ca} при различных значениях w_0

Таблица 2
Коэффициенты уравнения (3) при различной начальной влажности щепы w_0

w_0	25 %	30,5 %	36 %	41,5 %	47 %
a	2,80298	3,54316	2,64373	5,28724	6,85621
b	-0,0098	-0,0093	0,0019	-0,0038	0,02641
c	-0,0023	-0,0035	0,01276	-0,0011	-0,003
d	1,39885	1,35813	1,34314	1,39194	1,73306
e	-0,0065	-0,0062	5,22429	-0,0033	-0,0064

Анализируя график, представленный на рисунке 4, можно делать вывод, что оптимальное значение расхода сушильного агента в контейнер-сушилку составляет 0,26-0,22 м³/с, что соответствует действительному расходу 3,57-3,02 м³/с.

Выводы. Установлена регрессионная зависимость снижения влажности щепы в контейнере ИТМ после её сушки с помощью смеси горячих дымовых газов и воздуха охлаждающего двигателя Стирлинга от начальной влажности щепы и расхода сушильного агента, направляемого в контейнер. Выявлено оптимальное значение расхода газовой смеси в контейнер.

Список литературы

1. The study of biomass moisture content impact on the efficiency of a power-producing unit with a gasifier and the Stirling engine / P. N. Anisimov, E. M. Onuchin, M. M. Vishnevskaya, J. N. Sidyganov, A. A. Medjakov // Journal of Applied Engineering Science. 2016. No. 14(3). P. 395, 401-408.
2. Романов Е. М. Подходы к разработке и исследованию инновационной системы эффективного устойчивого лесопользования и лесовосстановления / Е. М. Романов, Е. М. Онучин // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 3. С. 3-9.
3. Поздеев А. Г., Кузнецова Ю. А. Моделирование систем: учеб. пособ. / Сыктывкарский лесной ин-т – фил. гос. образовательного учреждения высш. проф. образования «Санкт-Петербургская гос. лесотехническая акад. им. С. М. Кирова». Сыктывкар, 2010.
4. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике. Изд. 8-е, перераб. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы издательства, 1977. 440 с.
5. Мазуркин П. М. Законы убывающей доходности продукции // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Экономика и управление. 2012. № 1 (15). С. 67-74.

RESEARCH OF WASTE-HEAT RECOVERY FROM THE WOODCHIP-FUEL STIRLING ENGINE

Anisimov Pavel Nikolaevich, Onuchin Evgeniy Mikhaylovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The paper considered results of theoretical and experimental researches of waste-heat recovery from the woodchip-fuel external combustion engine. The method of mathematical modeling has determined parameters of the cooling air after the Stirling engine cooler and exhaust gases mix. The calculated parameters of gas mix were used at imitation of the drying agent in an experiment of waste-heat recovery from the Stirling engine in the woodchip container-dryer model. As a result, the optimum drying agent flow in a container-dryer is established.

Keywords: Stirling engine, chip fuel, wood gas, waste-heat recovery, drying.

УДК 531.8

**ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ЭКЗОСКЕЛЕТОВ
МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**Багаутдинов Ильдар Нургаязович, Грязин Владимир Альбертович
Кудрявцев Игорь Аркадьевич, Яблонский Роман Васильевич**

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
gryazinva@volgatech.net

В работе рассмотрены динамика изобретательской активности и проведен анализ патентных данных в области разработки экзоскелетов медицинского назначения.

Ключевые слова: экзоскелет, робототехника, ортэз, реабилитация, нижние конечности, детский экзоскелет.

Введение. Экзоскелет – устройство, предназначенное для восполнения утраченных функций, увеличения силы мышц человека и расширения амплитуды движений за счёт внешнего каркаса и приводящих частей [1]. В последние годы наблюдается

большой интерес к этому устройству и его использованию в различных отраслях и в частности в медицине. Экзоскелет может быть интересен в практической медицине при лечении и профилактике большого числа заболеваний и травм. В связи с этим в работе рассмотрены данные патентных источников по реабилитационным экзоскелетам, проведен их анализ и даны заключения.

Целью работы является оценка динамики изобретательской активности в сфере создания экзоскелетов медицинского назначения для получения данных о состоянии мирового уровня науки и техники.

В качестве основной базы для поиска объектов интеллектуальной собственности использованы базы Российского Федерального института промышленной собственности (www.fips.ru):

- рефераты российских изобретений;
- заявки на российские изобретения;
- полные тексты российских изобретений из трех последних бюллетеней;
- формулы российских полезных моделей;
- формулы российских полезных моделей из трех последних бюллетеней;
- перспективные российские изобретения.

Найденные охранные документы по ФИПС зарегистрированы с указанием классификаторов:

A61H 3/00 (2006.01) – Устройства для определения местонахождения или стимулирования рефлекторных точек на поверхности тела;

A62B 99/00 – Способы и устройства для спасения жизни Прочие устройства для спасения жизни;

A61F 2/64 (2006.01) – Фильтры, имплантируемые в кровеносные сосуды; протезы, т.е. искусственные части тела; приспособления для прикрепления их к телу, коленные суставы;

A61F 2/70 (2006.01) – Фильтры, имплантируемые в кровеносные сосуды; протезы, т.е. искусственные части тела; приспособления для прикрепления их к телу... электрические;

A61F 2/74 (2006.01) – Фильтры, имплантируемые в кровеносные сосуды; протезы, т.е. искусственные части тела; приспособления для прикрепления их к телу... пневмогидравлические;

A61F 5/00 (2006.01) – Ортопедические способы и устройства для нехирургического лечения опорно-двигательного аппарата (хирургические инструменты и способы лечения опорно-двигательного аппарата, устройства, специально предназначенные для этого; устройства для ухода за больными (бандажи, перевязочные средства или впитывающие прокладки;

A61F 3/00 – Устройства, компенсирующие укорочение нижних конечностей;

A61F 4/00 – Способы или устройства, позволяющие пациентам или людям с ограниченными возможностями в движении приводить в действие приспособления или устройства, не являющиеся частями тела (средства управления или приведения в действие протезов;

A63B 23/04 (2006.01) – Снаряды и устройства для физических упражнений, гимнастики, плавания, альпинизма, фехтования; игры с мячами; тренировочные устройства (устройства для пассивной лечебной гимнастики, массажа, электрические или электронные средства управления тренировочными устройствами, отнесенными к группам.

Анализ показал, что большинство объектов интеллектуальной собственности, наиболее близко описывающих конструкцию экзоскелета, относятся к МПК A61H3.

При анализе информационных ресурсов базы ФИПС в области МПК А61НЗ было выявлено, что всего зарегистрировано 333 объекта интеллектуальной собственности, включающих заявления, патенты на изобретения и патенты на полезную модель.

В общем объеме объектов интеллектуальной собственности МПК А61НЗ, к экзоскелетам относится 20 (6 %).

Поиск проводился по базе патентных данных Российского Федерального института промышленной собственности [2] и патентной базы Orbit [3].

Глубина поиска по источникам патентной информации была принята 15 лет, исходя из потребности в информации для решения поставленных задач. Всего было найдено 356 охранных документов по базе Orbit и 24 по патентной базе Российского Федерального института промышленной собственности.

Потребность в развитии науки и техники, а также в сохранении приоритета в области разработки способов и технологии переработки достаточно высокая: около 90 % рассмотренных патентов имеет статус действующих.

Тем не менее, внедрение в медицину происходит недостаточно интенсивно: патентообладателями в большей степени являются частные лица, НИИ, вузы, на долю которых приходится 71,6 % патентов. На долю организаций, которые занимаются непосредственным оказанием работ/услуг, приходится 12,7 % охранных документов.

Изменение количества поданных заявлений и выданных патентов в исследуемой области количественно и нарастающим итогом представлено на рисунках 1 и 2 соответственно.

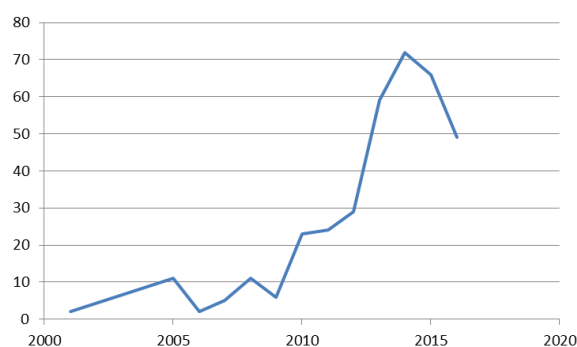


Рисунок 1 – Количество поданных заявлений и полученных патентов в мире

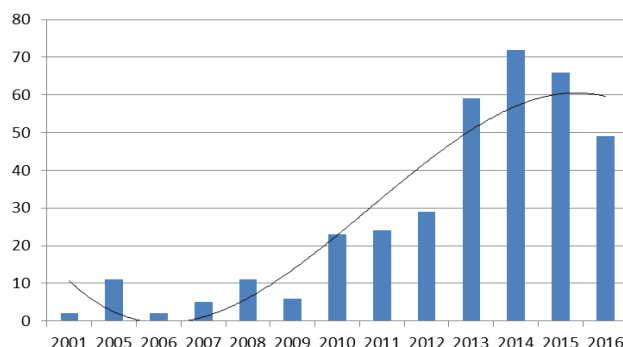


Рисунок 2 – Динамика публикационной активности в мире

Аналогично представлено количество только поданных заявлений в исследуемой области количественно и нарастающим итогом (рис. 3 и 4 соответственно).

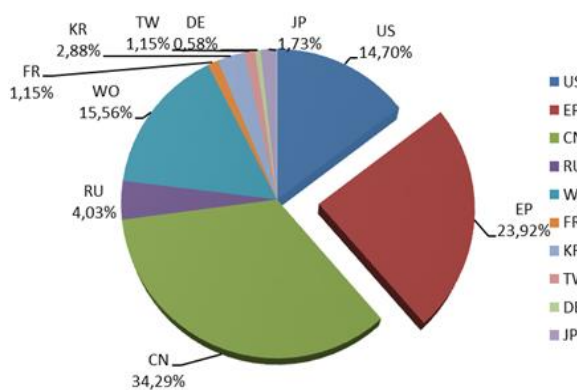


Рисунок 3 – Распределение объектов интеллектуальной собственности по основным странам

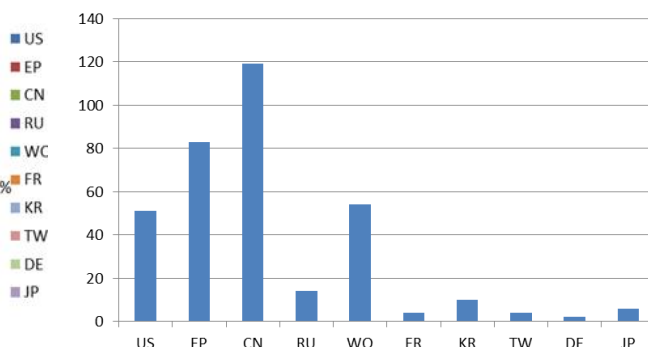


Рисунок 4 – Количество полученных объектов интеллектуальной собственности по базе Orbit

Изменение количества выданных патентов в исследуемой области количественно и нарастающим итогом представлено на рисунках 5 и 6 соответственно.

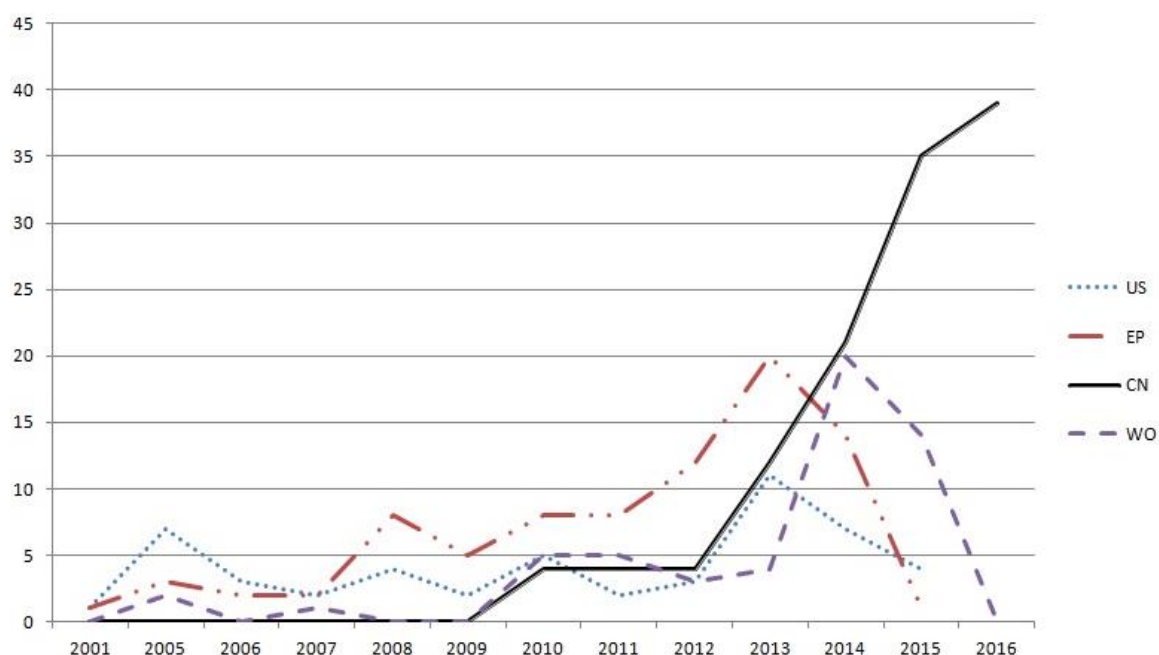


Рисунок 5 – Количество полученных объектов интеллектуальной собственности по базе Orbit

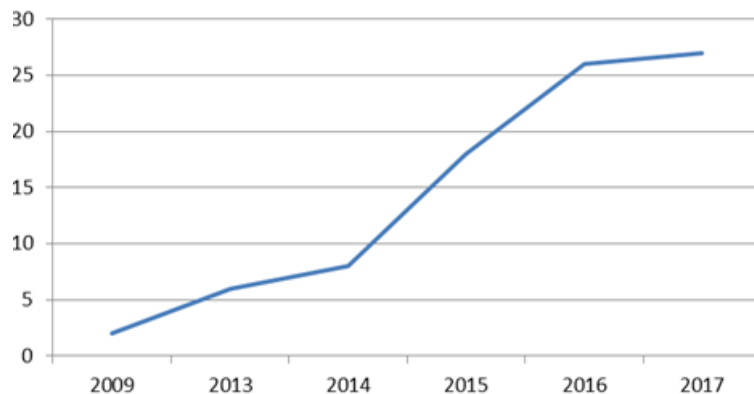


Рисунок 6 – Количество поданных заявок за 2009-2017 гг. в РФ

Анализ представленных зависимостей по количеству поданных заявлений показывает, что наибольшая активность заявителей приходится на 2013 и 2015 гг., что подтверждает сделанное предположение о 10-летнем цикле активности и, следовательно, об отсутствии необходимости расширения глубины проводимого поиска.

Увеличение активности подаваемых заявлений на получение охранных документов 2013 и 2015 гг. дает соответствующее увеличение числа выданных патентов в 2015 г., с последующим снижением как по числу поданных заявлений, так и по числу выданных патентов. Общее повышение активности заявителей начиная с 2016 г. свидетельствует о возрастании интереса в области разработки экзоскелетов.

В результате проведенного анализа можно заключить, что только 14 (12,3 %) из 365 заявителей являются гражданами РФ, выполняющими ряд действий, связанных с деятельностью, направленной на защиту прав интеллектуальной собственности в области создания роботизированных комплексов с целью реабилитации пациентов с нарушением локомоции ортеза нижних конечностей. В рамках поданных заявлений данное соотношение составляет 4 % к 365.

Анализ результатов патентного поиска по геополитическому признаку показал, что наибольшая активность зарубежных авторов наблюдается в области правоохранных документов на защиту устройства для его осуществления у четырех US, EP, CN, WO.

Анализ в области патентных документов показал, что с 2012 г. происходит активный рост публикаций в Китае, что составляет примерно 34 % от общего количества, на втором месте находится EP, составляет 24 % от общего количества, на третьем месте можно выделить – WO 15,2 % и на четвертом месте – США, составляющие 14,5 % от общего количества.

Таким образом, можно сделать вывод, что интеграция научных достижений зарубежных авторов достаточно развита.

Заключение. Результаты проведенного патентного поиска позволили оценить уровень и тенденции развития технологии и средств для роботизированной экзоскелетной реабилитации пациентов с нарушениями функций нижних конечностей.

Работа выполнена в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Создание высокотехнологичного производства многофункционального роботизированного экзоскелета медицинского назначения («РЭМ»)), шифр 2017-218-09-1807, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218.

Список литературы

1. Экзоскелет. Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (10.05.2017).
2. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности». Электронная база данных [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www1.fips.ru> (10.05.2017).
3. Патентные базы данных компании Questel [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.orbit.com> (10.05.2017).

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF EXOSKELETONS OF MEDICAL PURPOSE

**Bagautdinov Ildar Nurgayazovich, Gryazin Vladimir Albertovich
Kudryavtsev Igor Arkadievich, Yablonskiy Roman Vasilievich**

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

Dynamics is analyzed and patent data are analyzed on inventive activity in the field of development of exoskeletons of medical nazanacheniya.

Keywords: exoskeleton, robotics, orthosis, rehabilitation; lower limbs; children's exoskeleton.

УДК 005.336.3: 620.2

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗАМКОВ

¹*Бастраков Валентин Михайлович*, ²*Бербасов Иван Андреевич*

¹ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

²ООО «Тиара», г. Йошкар-Ола

Одним из основных показателей надежности замков является число циклов безотказной работы. Проведены ускоренные испытания до полного отказа сопряжения ключа из латуни Л 59-1 с сувальдой из стали обыкновенного качества. Результаты испытаний показали, что различные образцы из сертифицированного материала выдерживают число циклов, отличающееся в 2...2,5 раза. Основными факторами такой нестабильности названы химический состав и структура материала ключей. Предложены меры по увеличению ресурса замков.

Ключевые слова: качество замков, цикл работы, твердость, химический состав, изнашивание.

Введение. Основными техническими устройствами, охраняющими наше имущество, являются защитные конструкции (двери, замки). В настоящее время производство этой продукции развивается ускоренными темпами. Действующие производственные предприятия оснащены современным оборудованием, разрабатываются и внедряются новые конструкции и технологии изготовления подобных изделий. Это позволяет расширять ассортимент и повышать качество выпускаемой продукции такого назначения.

Качество замков отечественных и зарубежных производителей оценивается соответствием их комплекса показателей требованиям, установленным в соответствующих стандартах своих стран. Отечественные предприятия производят замки в соответствии с требованиями ГОСТ 5089-2011. «Замки, защелки, механизмы цилиндрические. Технические условия», который был введен в действие с 1 января 2013 года взамен нескольких стандартов, действующих до этого времени. Анализ новой версии стандарта показал, что в нем сохранился ряд недостатков присущих отмененным стандартам. Это ограничивает перспективу повышения качества данной продукции.

Показателями, характеризующими охранные свойства замков и цилиндрических механизмов и установленными в этом стандарте, являются: секретность, надежность (безотказность), прочность и стойкость к вскрытию (взлому). В зависимости от значений этих показателей качество замков подразделяют на четыре класса – 1, 2, 3, 4. Первый класс имеет низшие охранные свойства, четвертый – высшие.

Требования к числу секретов обеспечиваются типом и конструктивным исполнением замков, которые разрабатываются и постоянно совершенствуются в конструкторских подразделениях предприятий-производителей. В соответствии с требованиями надежности сборочные узлы замков должны выдерживать необходимое число циклов безотказной работы. В теории надежности такой показатель называют ресурсом. Цикл представляет собой вывод засова из корпуса замка на полный вылет с последующим вводом без нагрузки. В данном стандарте рекомендовано минимальное число рабочих циклов: для замков 1-го класса – 25000; для замков 2-го, 3-го и 4-го классов –

соответственно 50000, 75000 и 100000 циклов. Однако эти требования к минимальному числу циклов не обоснованы. Поэтому возникла необходимость проведения испытания партии замков для определения обоснованного установления числа циклов по соответствующим классам.

Экспериментальные исследования. Количество циклов переключений определяется интенсивностью изнашивания сопрягаемых поверхностей. Интенсивность изнашивания – отношение значения износа к обусловленному пути, на котором происходило изнашивание [1].

В большинстве конструктивных исполнений замков при эксплуатации цикл осуществляется ключом, который входит в сопряжение с сувальдами замка. Поэтому в стандарте указано, что замки должны быть укомплектованы не менее чем тремя ключами. Ключи должны быть прочными и выдерживать крутящий момент не менее 3 Нм.

Повышение ресурса узлов трения, в которых происходит изнашивание сопрягаемых деталей, является одной из проблем современного машиностроения. Процессы, происходящие при взаимодействии поверхностей в различных условиях, многообразны и сложны. Во всех случаях происходит отделение частиц материала с поверхностей деталей и (или) накопление остаточных деформаций, что приводит к изменению размеров и формы деталей. Задачу повышения надежности трибосопряжений обычно решают подбором или созданием материалов и смазочных сред. По мнению специалистов предприятия и из опыта эксплуатации замков такого типа, материалами, обеспечивающими оптимальную совместимость данного узла трения, являются соответственно многокомпонентная деформируемая латунь Л59-1 и сталь обыкновенного качества.

С целью установления действительного ресурса при взаимодействии ключа с сувальдами замка на специально сконструированной установке были проведены ускоренные испытания до предельного износа деталей, когда механизм перестает выполнять заданные функции (наступает отказ).

Результаты измерений размеров сопрягаемых поверхностей в процессе предварительных испытаний показали, что износу подвергается в основном ключ, а размеры стальных сувальд изменяются незначительно (практически остаются постоянными). Поэтому испытаниям подвергалась партия ключей, серийно изготавливаемых на данном предприятии из латунной ленты марки Л 59-1 разных поставщиков. Данный материал имеет сертификат качества на соответствие техническим условиям ГОСТ 2208-2007 «Фольга, ленты, листы и плиты латунные. Технические условия». Результаты испытаний показали, что число циклов до предельного износа ключей, изготовленных из этого материала, различается существенно.

Для выявления причин такого резкого различия в износостойкости ключей были проведены исследования механических свойств и химического состава этих образцов. Основным свойством материала, влияющим на скорость износа в соответствии с классической теорией трения и износа, является твердость материалов. Поэтому была определена твердость испытываемых образцов ключей. Измерения проводились по шкале HRB как минимум на трех разных участках каждого образца.

За результат принималось среднее значение твердости на разных участках, и определялся разброс R_{HRB} . Результаты испытаний до предельного состояния и измерений твердости приведены в таблице 1.

Таблица 1

Число циклов, выдержанных образцами до отказа, и значения твердости HRB

Условия испытаний		Без смазки			Со смазкой		
№ образца		1	2	3	4	5	6
Число циклов		2574	1717	1357	28500	27250	10250
Твердость	$\overline{HRB}$	74,8	64,8	63,2	60	60,2	72,2
Разброс	R_{HRB}	3,5	0,5	2,5	14	12	5

Полученные результаты показывают, что ключи, изготовленные из одного материала, выдерживают число циклов, отличающееся без применения смазки примерно в 2 раза и с применением смазки в 2,5 раза. Средние значения твердости образцов, полученных из материалов одной марки разными производителями, различаются на 14,8 единиц HRB (образцы № 1 и № 4), что составляет 20 % от меньшего значения. При этом твердость, измеренная на разных участках одного образца № 4, различается на 14 HRB, что составляет 23 % от среднего значения.

Из анализа полученных значений твердости и чисел циклов до предельного износа соответствующих образцов ключей следует вывод, противоречащий закономерностям классической теории изнашивания. Если без смазки эта закономерность подтверждается, то в условиях смазки с увеличением твердости число циклов уменьшается. Такое противоречие можно объяснить различием процессов, происходящих в сопряжении без смазки и со смазкой.

При сухом трении происходит изнашивание при схватывании (заедании). Изнашивание при схватывании возникает при локальном соединении двух твердых тел при взаимодействии молекулярных сил, последующего вырывания материала с одной поверхности и переносе его на другую. Оно проявляется при отсутствии смазочных пленок и поверхностных структур, локализирующих линии пластического течения в тонких поверхностных слоях. Часть отделившегося материала налипает на поверхность сопряженной детали [1]. Этим можно объяснить колебание размера поверхности сувальды около начального значения как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения.

При внесении смазки в испытываемые узлы и низких скоростях относительного перемещения деталей они работают в режиме граничной смазки. В таком режиме при наличии смазки работает рассматриваемое сопряжение. Поверхности трения при этом не разделены слоем первоначального смазочного материала. Непосредственный контакт, приводящий к их повышенному изнашиванию и заеданию узла трения, предотвращается или минимизируется вследствие образования на рабочих поверхностях пары граничных слоев, которые представляют собой продукты взаимодействия активных компонентов смазочного материала с поверхностным слоем твердого тела. Благодаря этим явлениям при граничной смазке сдвиговые деформации локализуются в граничном слое или очень тонком слое подложки, что предотвращает лежащие ниже слои трущихся тел от разрушения, а низкая сдвиговая прочность граничных слоев обеспечивает относительно малые потери на трение.

Разброс результатов измерений твердости на одном образце проявляется от неоднородности структуры, возникающей при охлаждении заготовок после горячего прессования полуфабрикатов. Неоднородность структуры наблюдается в двухфазных $\alpha+\beta$ -латунях из-за высокой чувствительности к режимам охлаждения. Поэтому необходимо стабилизировать скорость охлаждения после горячей штамповки заготовок ключей.

Кроме того, твердость стальных суальд, износ которых колеблется незначительно, оказалась меньше твердости ключей. Она составляет от 52 до 62 единиц HRB, когда твердость ключей составляет от 60 до 74,8 HRB.

Таблица 2

Механические свойства латуни ЛС 59-1 по ГОСТ 2208-2007

Способ изготовления	Состояние материала	σ_b , МПа	Относит. удлинение, %	Твердость HB, не менее
Холоднокатанные	Мягкое	340...470	не менее 25	100 (HRB 58)
	Полутвердое	400...500	не менее 10	–
	Твердое	460...610	не менее 5	200 (HRB 93)
	Особо твердое	<i>min</i> 590	не менее 3	–
Горячекатанные	–	360...490	не менее 18	–

Вследствие этого возникает предположение, что материал испытываемых образцов не соответствуют техническим условиям, установленным в ГОСТ 2208-2007. Требования этого стандарта к механическим свойствам и химическому составу данного материала приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 3

Требования к химическому составу

Содержание	Cu, %	Pb, %	Fe, %	Sn, %	Ni, %	P, %	Sb, %	Bi, %	Zn, %	Mn
min	57	0,8	–	–	–	–	–	–	остальное	–
max	60	1,9	0,5	0,3	1,0	0,02	0,01	0,003	–	–

Знак «–» обозначает, что данный элемент не нормируется и входит в сумму прочих элементов.

Сумма прочих элементов: min «–», max 0,75 %.

Анализ химического состава проводился на прецизионном стационарном спектрометре Foundry Master, обеспечивающем точность анализа до 0,0001 %. Процентное содержание основных элементов, испытываемых образцов представлено в таблице 4.

Таблица 4

Результаты анализа химического состава материала испытываемых образцов, %

№ образца	1	2	3	4	5	6
Cu	58,1	57,2	57,1	60,4	58,3	57,5
Zn	39,5	40,6	40,7	37,3	39,6	40,2
Pb	1,73	1,64	1,01	1,7	1,7	1,6
Fe	0,116	0,0726	0,232	0,0619	0,0598	0,124

Сравнивая значения твердости и процентное содержание основных элементов химического состава всех образцов со значениями, установленными в стандарте, можно отметить, что все образцы соответствуют требованиям стандарта. Только у образца № 4 содержание меди превышает максимально допустимое на 0,4 %. Но этот образец выдержал наибольшее число циклов. Анализ данных таблиц 1 и 4 показывает, что число циклов увеличивается при увеличении в сплаве содержания меди и уменьшении содержания цинка. Причем в 6-м образце происходит резкое уменьшение числа циклов.

Анализируя диаграмму состояния медь-цинк и зависимость предела прочности σ_b от содержания цинка [2], можно заметить подобную зависимость. График зависимости предела прочности σ_b от содержания цинка показывает, что при увеличении содержания цинка более 39 % предел прочности резко снижается. Этим объясняется резкое

снижение количества выдержанных циклов образцом № 6, в котором цинка содержится 40,2 %. Даже при содержании цинка 39,6 % в образце № 5 число циклов уменьшается незначительно.

Следовательно, требования стандарта на материал не обеспечивают стабильности показателей качества данной продукции. Поэтому в стандарте оговаривается условие, что по согласованию потребителя с изготовителем могут устанавливаться другие ограничения по содержанию примесей, так как латунь имеет очень широкую сферу применения и в каждой сфере необходимы различные эксплуатационные свойства. Предприятия-производители являются потребителями материала и им необходимо для изготовления ключей требуемого качества устанавливать дополнительные требования по химическому составу и структуре материала.

В первую очередь необходимо установить требования к содержанию цинка в пределах от 36 до 39 %. Кроме того, на антифрикционные свойства латуни положительно влияют незначительные добавки кремния и олова. Наибольшее количество циклов выдержали образцы № 4 и № 5, в которых содержание кремния составляет соответственно 0,01 % и 0,076 %, а содержание олова – 0,06 % и 0,053 %. Во вторую очередь необходимо стабилизировать режим охлаждения заготовок после штамповки.

Выводы

1. Основными факторами, влияющими на эксплуатационные показатели замков, являются свойства материалов их деталей.

2. Требования к материалу ключей, лимитирующих количество выдержанных циклов, установленные в технических условиях ГОСТ 2208-2007, не обеспечивают достижения высокого качества замков.

3. Производителям замков следует рекомендовать поставщикам дополнительные требования к материалу ключей. При использовании в производстве ключей материала латунь такими могут быть требования к химическому составу: содержание цинка в пределах от 36 до 39 %, содержание кремния – от 0,01 до 0,075 % и содержание олова – от 0,05 до 0,06 %.

Список литературы

1. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А. В. Чичинадзе, Э. М. Берлинер, Э. Д. Браун и др.; под общ. ред. А. В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2003. 273 с.; ил.
2. Гуляев А. П. Металловедение: учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1986. 544 с.: ил.

QUALITY OF MATERIALS EFFECT ON LOCK PERFORMANCE CRITERIA

Bastrakov Valentin Mihailovich, Berbasov Ivan Andreevich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola
"Tiara", Yoshkar-Ola

One of the main criteria of lock reliability is cycle index of its no-failure operation. Accelerated tests before complete failure of lock made from brass L 59-1 with steel lever tumbler were conducted. Test results showed that different samples made of fully-qualified materials were survived significantly different number of cycles (the difference is about 2-2.5 times). The major factor of instability was chemical composition and material structure of locks. Measures for lock-life gain were proposed.

Keywords: lock quality, operational cycle, hardness, chemical composition, wear process.

УДК 621.318

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ РЕЗОНАНСА НАПРЯЖЕНИЙ

Богатырев Максим Дмитриевич

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
BogatyrevMD@volgatech.net

Предлагается схема электрической установки ударного действия на основе резонанса напряжений. Выбран оптимальный вариант конструктивного исполнения элементов разрабатываемого устройства. Показано, что использование данной схемы ударного электроинструмента позволит увеличить его ресурс и повысить производительность.

Ключевые слова: ударный электроинструмент, катушка индуктивности, конденсатор, сердечник катушки, резонанс напряжений.

Введение. Современный ударный электроинструмент основывается на нескольких принципах работы [1].

В пневматических устройствах, использующих энергию сжатого воздуха, он дискретно (порциями) подается на продольно-перемещаемый шток, а тот, в свою очередь, перемещает (вперед-назад) сам ударный механизм (отбойные молотки, наковальни и т.д.). Такая конструкция имеет ряд недостатков:

- 1) высокая сложность (наличие приводного двигателя, компрессора, механизма передачи крутящего момента, ресивера, механизма управления подачей воздуха и т.д.);
- 2) высокая стоимость;
- 3) низкая надежность;
- 4) сложная система управления пневмоприводом;
- 5) нестабильность выходных параметров (падение давления в ресивере, нестабильность оборотов двигателя при изменении нагрузки).

В эксцентриковых механизмах крутящий момент передается от приводного двигателя кулачковому валу, а далее продольно-перемещаемому штоку устройства и ударному механизму.

К недостаткам данного устройства относится низкий ресурс работы. Это связано с повышенным трением в узле (кулачок-шток) и недостаточной смазкой. На практике заводская смазка из узла быстро удаляется, и он начинает работать «на сухую». Это приводит к преждевременному износу, т.е. выработке поверхности скольжения кулачка и образованию излишних зазоров в узле. При этом нарушаются ходы штока, а производительность электроинструмента падает.

В кривошипно-шатунных механизмах энергия вращающегося коленчатого вала преобразуется в возвратно-поступательное движение поршня посредством шатуна. В качестве поршня может выступать сам ударный механизм.

Электроинструмент, использующий данный принцип работы, представляется наиболее эффективным, т.к. смазка узлов трения обеспечивается принудительной системой смазки (под давлением), как это осуществляется в 4-тактных двигателях внутреннего сгорания. Недостатком данного устройства видится высокая стоимость кривошипно-шатунного механизма.

В механизмах, использующих принцип электромагнитного реле, электрический ток подается на катушку индуктивности. Она создает магнитное поле, которое втяги-

вает якорь. Он в свою очередь перемещает шток в продольном направлении, а далее ударный механизм. При снятии напряжения, подводимого к катушке, ее втягивающая сила ослабевает и якорь, под действием возвратной пружины, возвращается в исходное положение. Такой принцип действия имеют современные электрокраскопульты. В них продольно-перемещаемый шток выполняет роль плунжера. Он проталкивает очередную порцию красящей эмульсии сквозь цилиндр при каждом срабатывании катушки. Недостатком данного устройства является низкий ресурс. В месте контакта якорь–шток образуется выработка, при этом нарушаются ходы штока, а вместе с этим падает производительность электроинструмента.

Наиболее перспективным представляется электроинструмент, работающий по принципу электромагнитного реле. Однако производительность такого инструмента низкая. Это обуславливается компактностью корпуса инструмента и размерами самой катушки. Ее втягивающая сила оказывается недостаточной для эффективной работы. Увеличение производительности возможно за счет увеличения габаритов и веса электроинструмента. Это невозможно осуществить на практике, т.к. ручной электроинструмент должен быть компактным и легким.

Таким образом, необходимо избежать наличия узла трения якорь–шток – это позволит увеличить ресурс. Надо найти конструктивное решение, при котором будет увеличена втягивающая сила катушки, это даст возможность увеличить производительность электроинструмента.

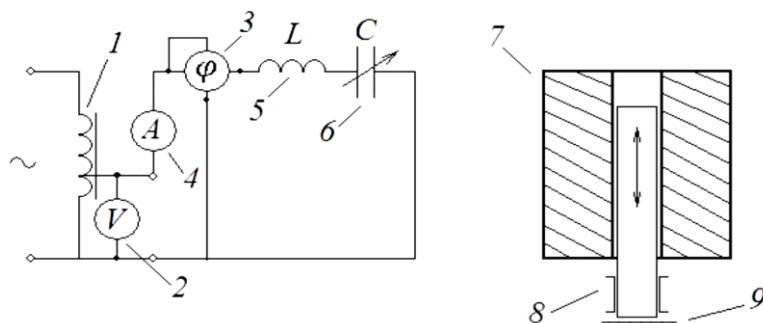
Цель работы – спроектировать схему ударного электроинструмента, обладающего большей производительностью по сравнению с имеющимися аналогами.

Решаемые задачи:

- 1) увеличить втягивающую силу катушки за счет включения в электрическую схему подобранной емкости для получения режима работы – резонанса напряжений;
- 2) отказаться от узла трения якорь–шток в пользу использования самого сердечника катушки в качестве ударного механизма.

Предлагаемые схемно-конструктивные решения. Предлагается принципиальная электрическая схема ударного электроинструмента, в которой последовательно с катушкой индуктивности включена подобранная емкость для обеспечения режима резонанса напряжений и максимального увеличения тока в цепи, а следовательно, и втягивающей силы. В качестве ударного механизма используется сам сердечник катушки.

Краткое описание проекта. Принципиальная электрическая схема установки представлена на рисунке.



Принципиальная электрическая схема установки

Представленная схема состоит из источника питания – однофазный трансформатор переменного напряжения (поз. 1), вольтметра (поз. 2), фазометра (поз. 3),

амперметра (поз. 4), катушки индуктивности (поз. 5), батареи конденсаторов переменной емкости (поз. 6), катушки индуктивности с сердечником в разрезе (поз. 7), направляющих (поз. 8), основания (поз. 9).

Трансформатор служит для обеспечения, подаваемого на установку напряжения и обеспечения заданных параметров устройства. Вольтметр включен во вторичную обмотку питающего трансформатора. Он обеспечивает контроль над напряжением, подводимому к резонансному участку цепи. Фазометр используется для измерения угла сдвига фаз между входным напряжением и током в цепи. Показания фазометра позволяют определить режим работы цепи в любой момент времени. Амперметр служит для контроля над током, протекающим по цепи для обеспечения безопасности при работе установки. Катушка индуктивности и конденсатор выступают в качестве электроприемников в данной цепи.

Принцип работы установки основан на явлении резонанса напряжений в цепях переменного тока [2].

Для установки подобрана батарея конденсаторов переменной емкости и катушка с заданной индуктивностью. Параметры этих электроприемников подобраны таким образом, чтобы обеспечить работу цепи в широком диапазоне изменения коэффициента мощности цепи (включая резонанс) [3].

При включении установки регулируется напряжение на трансформаторе. Значение подаваемого напряжения определяется параметрами приемников. При этом, меняя емкость батареи конденсаторов, цепь настраивается на резонанс или близкий к нему режим. Момент наступления резонанса показывают измерительные приборы (фазометр и амперметр).

По закону электромагнитной индукции (при подаче напряжения на обмотку катушки) создается электромагнитное поле, в котором находится сердечник катушки. При этом на него действует электромагнитная сила. Она втягивает сердечник катушки внутрь обмотки и удерживает его там, причем сердечник находится в устойчивом положении [4].

Изменяя емкость конденсатора, цепь выводится из резонанса, при этом электромагнитная сила, прежде удерживающая сердечник на месте, уменьшается. При этом под действием собственного веса, сердечник катушки выходит из обмотки и опускается по направляющим до столкновения с основанием установки. Далее процесс повторяется.

Частота перемещения сердечника катушки определяется частотой изменения емкости батареи конденсаторов. Энергия удара сердечника об основание установки определяется весом самого сердечника и частотой процесса.

Выводы

1. Предлагаемая схема установки решает проблему трения в узле якорь–шток таким образом, что в качестве ударного механизма выступает сам сердечник катушки.

2. Электрическая схема обладает преимуществом, по сравнению со схемами традиционного электроинструмента, за счет использования режима резонанса напряжений при своей работе. Это позволяет увеличить ток в цепи до максимального значения при резонансе, тем самым, обеспечить максимальную втягивающую силу катушки индуктивности. Производительность инструмента при этом будет максимальна.

3. Основное перспективное применение данной схемы в качестве электрической схемы ударного электроинструмента, работающего по принципу электромагнитного реле (отбойный молоток, краскопульт и т.д.). Может также использоваться при различных видах обработки материалов ударным способом.

Список литературы

1. Синякович С. Г. Выбор и эксплуатация электроинструмента. СПб.: Харвест, 2007. 160 с.
2. Богатырев М. Д. Электрические цепи переменного тока: лабораторный практикум. Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2012. 52 с.
3. Полещук В. И. Задачник по электротехнике и электронике: учеб. пособие для СПО. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Академия, 2010. 249 с.: ил.
4. Касаткин А. С. Курс электротехники. М.: Высшая школа, 2008. 457 с.: ил.
5. Жаворонков М. А. Электротехника и электроника. М.: Академия, 2010. 377 с.

ELECTRIC CHOCK INSTALLATION BASED ON STRESS RESONANCE

Bogatyrev Maksim Dmitrievich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The scheme of an electric shock installation based on stress resonance is proposed. The optimum variant of constructive execution of elements of the developed device is chosen. The use of this shock electric tool scheme increasing its resources and increasing productivity.

Keywords: shock electric tools, inductor, capacitor, coil core, stress resonance.

УДК 630.36

**УСТРОЙСТВО АВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ ГИДРОПРИВодОВ
ОТ ЗАЛПОВЫХ УТЕЧЕК РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ**

***Вдовин Сергей Леонидович, Никоноров Константин Николаевич,
Соковнина Анна Алексеевна, Соковнина Екатерина Алексеевна***

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
VdovinSL@volgatech.net

Предложено техническое решение устройства аварийной защиты, предназначенного для повышения экономичности и экологических свойств гидрофицированного оборудования уменьшением разлива рабочей жидкости в случае разгерметизации. Эффект достигается контролем разности между подачей насоса гидропривода и расходом в сливной магистрали с перекрытием доступа рабочей жидкости к неисправной гидросистеме в случае превышения этой разностью допустимого значения. Устройство приводится в действие потоком жидкости насоса и состоит из механических элементов, благодаря чему не требуются отдельный источник питания и специальные датчики. Контроль разности расходов на входе и выходе гидросистемы предотвращает ложные срабатывания устройства при значительных изменениях параметров потока жидкости и позволяет защищать гидропривод целиком.

Ключевые слова: гидропривод, разгерметизация, утечка, контроль герметичности, защита гидросистемы, экологичность.

Введение

Для работы технологического оборудования и механизмов хода современных машин все чаще используются объемные гидравлические приводы, которые наряду со множественными преимуществами создают экологические и эксплуатационные сложности.

Особенно острой эта проблема стала для лесозаготовительной и сельскохозяйственной техники. Гидроприводы лесных машин подвергаются знакопеременным и ударным нагрузкам, что вызывает преждевременные внезапные отказы рукавов высокого давления (РВД) [1, 2]. Их разрушение приводит к залповым утечкам (выбросам) рабочей жидкости и вследствие этого – к повышению расходов на замену и долив гидравлических масел, незапланированному простою, а также к загрязнению почвы и растительности горюче-смазочными материалами. Это снижает экологические показатели технологических машин и приводит к удорожанию их эксплуатации.

Одной из действенных мер по уменьшению потерь гидрожидкости является использование устройств аварийной защиты гидропривода, отключающих гидросистему или ее негерметичный участок от источника давления [3]. Однако существующие решения имеют ряд значительных недостатков: ложные срабатывания при падении давления и изменении расхода, ограниченность применения в гидросистемах с однополостными гидроцилиндрами, либо необходимость установки устройства на каждой гидролинии, что повышает стоимость защиты.

Цель работы. Решение указанной проблемы заключается в разработке устройства аварийной защиты, обеспечивающего возможность контроля всего гидропривода с несколькими типами гидродвигателей, при минимальном количестве элементов защитного средства.

Решаемые задачи:

1) Разработка конструктивной схемы защитного устройства, обеспечивающей контроль герметичности всей гидросистемы при отсутствии ложных срабатываний под действием переменных расходов и давлений или при работе однополостных гидродвигателей.

2) Проведение теоретического исследования срабатывания устройства в гидросистеме с заданными параметрами для оценки его быстродействия.

Конструктивная схема предлагаемого устройства [4] и размещение его в гидросистеме представлены на рисунке 1. Основными узлами являются: отсечный клапан 1, датчик сливной магистрали 2, датчик однополостного гидродвигателя 3 и узел блокировки 4. Последний используется при наличии в гидросистеме однополостных гидроцилиндров Ц2 и препятствует ложному срабатыванию защиты, когда из-за работы гидродвигателя одностороннего действия отсутствует поток в сливной магистрали V.

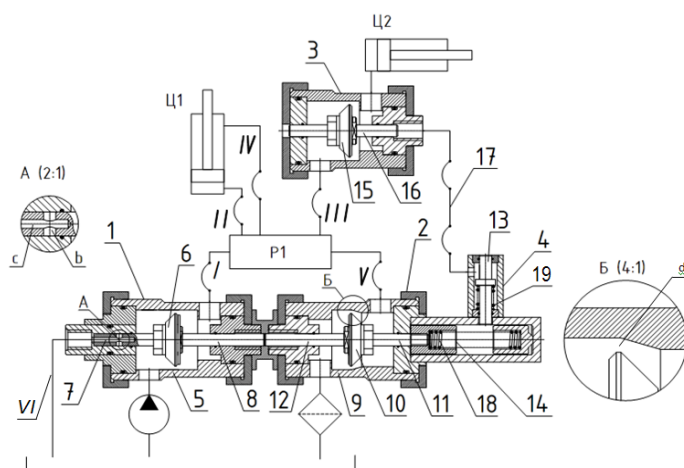


Рисунок 1 – Конструктивная схема устройства аварийной защиты и его расположение в гидросистеме: 1 – отсечный клапан; 2 – датчик сливной магистрали; 3 – датчик расхода однополостного гидродвигателя; 4 – узел блокировки; 5 – корпус отсечного клапана; 6, 10, 15 – поршни; 7, 8, 11, 12, 16 – штоки; 9 – корпус датчика сливной магистрали; 13 – плунжер; 14 – втулка; 17 – гидролиния обратной связи; 18, 19 – пружины; b, c – каналы; d – зазор

Узел 4 управляется по гидролинии обратной связи 17 датчиком однополостного гидродвигателя 3, смонтированным в напорной магистрали III гидроцилиндра Ц2.

Гидропривод с устройством аварийной защиты функционирует следующим образом. При включении распределителя Р1 на выдвижение штока Ц1 рабочая среда проходит через зазор между корпусом 5 и поршнем 6 и по гидролинии II в поршневую полость Ц1. Из штоковой полости жидкость по линии IV направляется к распределителю Р1, а оттуда по магистрали V через датчик 2 и фильтр – в гидробак. Поскольку расход в линии I превышает расход в магистрали V (из-за разности площадей в поршневой и штоковой полостях Ц1), перепад давлений на поршне 6 больше перепада давлений на поршне 10. Однако при смещении поршня 10 с поршнем 6 вправо ширина зазора d уменьшается. Элементы 6 и 10 движутся до тех пор, пока сила на поршне 6 не будет уравновешена силами пружины 18 и разности давлений на поршне 10.

В случае разгерметизации любого участка гидросистемы от линии I до линии V включительно, жидкость начинает вытекать наружу. Вследствие этого расход в датчике 2 становится ниже допустимого или равным нулю, а в отсечном клапане 1 – сохраняется. Поршни со штоками смещаются по схеме вправо, при этом уменьшение зазора d практически не влияет на усилие на поршне 10, поскольку расход жидкости в датчике 2 незначителен. В конце хода поршень 6 правой частью перекрывает выход жидкости из корпуса 1 в линию I. Каналы b и c в штоке 7 при этом соединятся с полостью в корпусе 1, и весь поток будет перетекать по линии VI на слив в гидробак. Выброс жидкости из гидросистемы прекратится.

При включении только однополостного гидроцилиндра Ц2 поток жидкости проходит через датчик 3, поршень 15 смещается вправо, вытесняя жидкость из гидролинии обратной связи 17 и сдвигая тем самым плунжер 13 вниз. Последний блокирует дальнейшее перемещение поршней 6 и 10 вправо за счет упора в него втулки 14.

При разгерметизации гидросистемы давления в ней становится недостаточно для преодоления усилия на гидроцилиндре Ц2, и поршень последнего останавливается. Вследствие этого течение жидкости через линию III и датчик 3 прекращается. Плунжер 13 пружиной 19 возвращается в исходное положение, и освободившиеся поршни 6 и 10 со штоками смещаются в крайнюю правую позицию, направляя поток жидкости по линии VI в бак.

Данное решение обладает следующими преимуществами:

1) Возможность контроля герметичности всей гидросистемы с помощью одного устройства. За счет этого снижаются масса и стоимость защиты, минимизируется вмешательство в конструкцию гидропривода, уменьшается количество масла, выбрасываемого в окружающую среду.

2) Самонастройка устройства на наибольшую разность расходов, что обеспечивает его применимость для различных схем гидропривода с несколькими типоразмерами гидроцилиндров и гидромоторов.

3) Использование энергии потока жидкости для срабатывания устройства, благодаря чему не требуется питание его от бортовой электросети машины.

Математическое моделирование срабатывания устройства аварийной защиты. Математическая модель составлялась для гидросистемы с защитным устройством, двумя двуполостными гидроцилиндрами Ц1 и Ц2 и гидромотором ГМ1. Моделируемая ситуация – разгерметизация напорной гидролинии гидроцилиндра Ц1 при выдвижении штоков Ц1 и Ц2 и вращении гидромотора ГМ1. Математическая модель включает: системы дифференциальных уравнений, описывающих изменение расхода в датчике сливной магистрали до и после разгерметизации; дифференциальные уравнения движения элементов защитного устройства до и после разгерметизации.

- Модель процесса в гидросистеме до и после разгерметизации имеет вид:

$$\left\{ \begin{aligned} m_1 \frac{dv_1}{dt} - p F_{2\text{ц1}} + F_{2\text{ц1}}^3 N_{\text{л1}}^2 v_1^2 + F_{1\text{ц1}} [F_{1\text{ц1}}^2 N_{\text{сл.ц1}}^2 v_1^2 + (F_{1\text{ц1}} v_1 + 2\pi q_{\text{ГМ1}} n_{\text{ГМ1}})^2 N_{\text{л.сл}}^2] + n_1 \text{sign}(v_1) + P_1 &= 0; \\ m_2 \frac{dv_2}{dt} - p F_{1\text{ц2}} + F_{1\text{ц2}}^3 N_{\text{л2}}^2 v_2^2 + n_2 \text{sign}(v_2) + P_2 &= 0; \\ 2\pi J_{\text{ГМ1}} \frac{dn_{\text{ГМ1}}}{dt} - \eta_{\text{ГМ1}} p q_{\text{ГМ1}} + q_{\text{ГМ1}} [4\pi^2 q_{\text{ГМ1}}^2 n_{\text{ГМ1}}^2 (N_{\text{л3}}^2 + N_{\text{сл.ГМ1}}^2) + (F_{1\text{ц1}} v_1 + 2\pi q_{\text{ГМ1}} n_{\text{ГМ1}})^2 N_{\text{л.сл}}^2] + M_{\text{ГМ1}} &= 0; \\ Q_n - F_{2\text{ц1}} v_1 - F_{1\text{ц2}} v_2 - 2\pi q_{\text{ГМ1}} n_{\text{ГМ1}} - (C_{\Sigma 1} + C_{\Sigma 2} + C_{\Sigma 3}) \frac{dp}{dt} &= 0 \end{aligned} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{aligned} m_1 \frac{dv_1}{dt} - p F_{2\text{ц1}} + F_{2\text{ц1}}^3 N_{\text{л1}}^2 v_1^2 - 2F_{2\text{ц1}}^2 N_{\text{л1}}^2 Q_{\text{разр}} v_1^2 + F_{2\text{ц1}} N_{\text{л1}}^2 Q_{\text{разр}}^2 + \\ + F_{1\text{ц1}} [F_{1\text{ц1}}^2 N_{\text{сл.ц1}}^2 v_1^2 + (F_{1\text{ц1}} v_1 + 2\pi q_{\text{ГМ1}} n_{\text{ГМ1}})^2 N_{\text{л.сл}}^2] + n_1 \text{sign}(v_1) + P_1 &= 0; , \\ m_2 \frac{dv_2}{dt} - p F_{1\text{ц2}} + F_{1\text{ц2}}^3 N_{\text{л2}}^2 v_2^2 + n_2 \text{sign}(v_2) + P_2 &= 0; \\ 2\pi J_{\text{ГМ1}} \frac{dn_{\text{ГМ1}}}{dt} - \eta_{\text{ГМ1}} p q_{\text{ГМ1}} + q_{\text{ГМ1}} [4\pi^2 q_{\text{ГМ1}}^2 n_{\text{ГМ1}}^2 (N_{\text{л3}}^2 + N_{\text{сл.ГМ1}}^2) + \\ + (F_{1\text{ц1}} v_1 + 2\pi q_{\text{ГМ1}} n_{\text{ГМ1}})^2 N_{\text{л.сл}}^2] + M_{\text{ГМ1}} &= 0; \\ Q_n - Q_{\text{разр}} - F_{2\text{ц1}} v_1 - F_{1\text{ц2}} v_2 - 2\pi q_{\text{ГМ1}} n_{\text{ГМ1}} - (C_{\Sigma 1} + C_{\Sigma 2} + C_{\Sigma 3}) \frac{dp}{dt} &= 0, \end{aligned} \right. \quad (2)$$

где $N_{\text{сл.ц1}}$ и $N_{\text{сл.ГМ1}}$ – сопротивление сливной гидролинии гидроцилиндра Ц1 и гидромотора ГМ1 соответственно, с учетом местных потерь напора в гидроаппаратуре; $q_{\text{ГМ1}}$ – рабочий объем гидромотора ГМ1, м³/об; $J_{\text{ГМ1}}$ – суммарный момент инерции гидромотора и вращаемого механизма, приведенный к валу гидромотора, кг/м²; $n_{\text{ГМ1}}$ – частота вращения гидромотора, об/с; $\eta_{\text{ГМ1}}$ – гидромеханический КПД гидромотора; $N_{\text{л3}}$ – сопротивление напорной гидролинии гидромотора; $M_{\text{ГМ1}}$ – момент нагрузки на валу гидромотора, Н·м; $C_{\Sigma 3}$ – суммарная объемная податливость напорной линии гидромотора с жидкостью, м³/Па.

- Модель срабатывания устройства аварийной защиты (см. рис. 1):

$$m_{n\Sigma} \frac{d^2 x_{n1}}{dt^2} - \left[\left(Q_n - \frac{\pi(D_n^2 - d_w^2) dx_{n1}}{4 dt} \right)^2 N_{\text{ц.1}}^2 - \left(\frac{\pi(D_n^2 - d_w^2) dx_{n1}}{4 dt} - F_{2\text{ц1}} v_1(t) \right)^2 N_{\text{ц.сл}}(x_{n1})^2 \right] \frac{\pi(D_n^2 - d_w^2)}{4} + \\ + P_{\text{тр.1}} \text{sign} \left(\frac{dx_{n1}}{dt} \right) + C_{\text{пр}}(x_{n1} + x_{\text{пр.10}}) = 0, \quad (3)$$

$$m_{n\Sigma} \frac{d^2 x_{n1}}{dt^2} - P_{n1}(x_{n1}) + \left(\frac{\pi(D_n^2 - d_w^2) dx_{n1}}{4 dt} + F_{1\text{ц1}} v_{1\text{II}}(t) + 2\pi q_{\text{ГМ1}} n_{\text{ГМ1}} \right)^2 N_{\text{ц.сл}}(x_{n1})^2 \frac{\pi(D_n^2 - d_w^2)}{4} + \\ + P_{\text{тр.1}} \text{sign} \left(\frac{dx_{n1}}{dt} \right) + C_{\text{пр}}(x_{n1} + x_{\text{пр.10}}) = 0, \quad (4)$$

где x_{n1} и x_{n2} – перемещение поршней 6 и 10 соответственно, м; $m_{n\Sigma}$ – суммарная масса поршней 6 и 10 со штоками, кг; D_n и d_w – диаметры поршней 6 и 10 и их штоков, м; $N_{\text{ц.1}}$ – сопротивление зазора поршня 1; $N_{\text{ц.сл}}$ – сопротивление зазора поршня 10; $P_{\text{тр.1}}$ – суммарная сила трения, действующая на поршни, Н; $C_{\text{пр}}$ – жесткость пружины 18, Н/м; $x_{\text{пр.10}}$ – начальная деформация пружины, м; $P_{n1}(x_{n1})$ – усилие на поршне 6, Н.

Техника эксперимента

Математическая модель решалась в процессе численного эксперимента в среде MathCAD 14. Для решения систем (1) и (2) применялся метод RADAUS, для уравне-

ний (3) и (4) – метод Рунге-Кутты. В качестве *входной величины* выбран расход жидкости $Q_{\text{разр.}}$, выбрасываемой из разрушенной гидролинии. *Выходные величины* – время срабатывания защитного устройства $T_{\text{сум.}}$ и объем сохраненной жидкости $V_{\text{сохр.}}$. Значения $Q_{\text{разр.}}$, задаваемые в ходе эксперимента: 0, 10, 20, 30, 40 дм³/мин. Решение уравнений (1)–(4) проводилось для каждого из указанных значений. Суммарное время срабатывания устройства $T_{\text{сум.}}$ и объем сохраненной жидкости $V_{\text{сохр.}}$ определялись по результатам решения.

Результаты и их интерпретация

Результатами численного эксперимента стали зависимости времени срабатывания устройства и объема сохраненной рабочей среды от интенсивности ее выброса. Графическая интерпретация их представлена на рисунке 2. Согласно диаграмме на рисунке 2а, количество сохраненной гидрожидкости возрастает пропорционально интенсивности ее истечения из гидролинии. Данный характер зависимости объясняется тем, что объем потерь жидкости при срабатывании устройства намного меньше объема утечек при ликвидации аварии оператором.

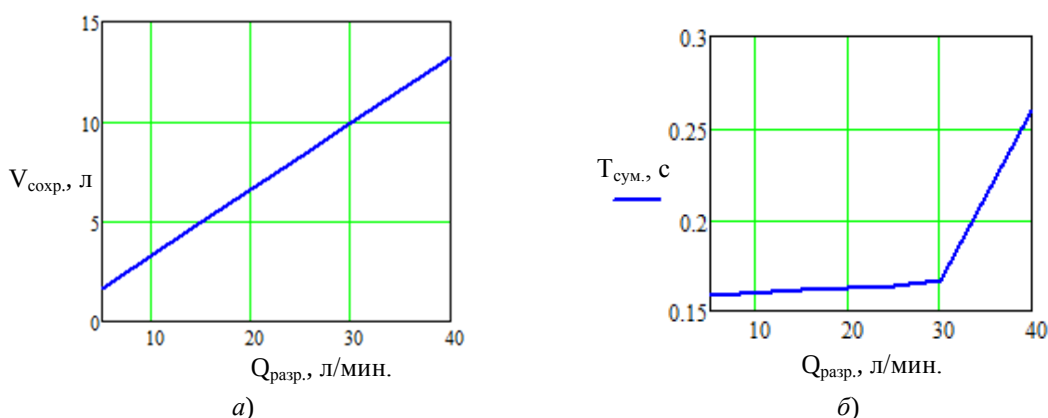


Рисунок 2 – Зависимость объема сохраненной рабочей жидкости $V_{\text{сохр.}}$ (а) и времени срабатывания защиты $T_{\text{сум.}}$ (б) от интенсивности выброса жидкости через повреждение $Q_{\text{разр.}}$

Время срабатывания устройства при увеличении расхода жидкости, вытекающей из негерметичной гидролинии, также повышается (рис. 2б). Это обусловлено снижением усилия на поршне отсечного клапана при открытии перепускного канала **b** (см. рис. 1). Таким образом, предлагаемый способ снижения потерь рабочей среды наиболее эффективен при значительных утечках из гидросистемы.

Выводы

1. Разработанное техническое решение устройства обладает совокупностью отличительных признаков и защищено патентом РФ на изобретение; представленные математические модели учитывают наличие разработанного устройства в гидросистеме и отражают его функционирование, что подтверждает научную новизну полученных результатов.

2. Данные численного эксперимента и приведенные зависимости показали эффективность срабатывания предложенного устройства защиты при значительных утечках рабочей среды, что свидетельствует о достижении поставленной в работе цели.

Список литературы

1. Павлов А. И., Полянин И. А., Лощенов П. Ю. Теоретические исследования динамических свойств элементов гидропривода лесных машин при диагностировании в функциональ-

ном режиме // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2012. № 1. С. 44-52.

2. Дац Ф. А., Назаренко А. С. Исследование характера эксплуатационных отказов рукавов высокого давления на эффективность работы машин фирмы Джон Дир в условиях Вологодской области // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2010. № 5. С. 90-95.

3. Патент 2319054 Российская Федерация, МПК⁷ F 16 K 17/24. Клапанная система аварийного отключения / Аверьянов В. К., Смирнов С. Н., Бараш А. Л., Лукошкин К. И., Бондарев А. В. (Россия). № 2006138451/06; заявл. 10.02.07; опубл. 10.03.08, Бюл. № 7. 10 с.

4. Патент 2522013 РФ, МПК⁷ F 15 B 20/00. Автомат разгерметизации гидросистемы / Вдовин С. Л. (Россия); патентообладатель Поволжский государственный технологический университет. № 2013121172/06; заявл. 07.05.2013; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 19. 12 с.

DEVICE FOR EMERGENCY PROTECTION OF HYDRO-DRIVES FROM VOLLEY LEAKAGE

**Vdovin Sergey Leonidovich, Nikonorov Konstantin Nikolaevich, Sokovnina Anna Alekseevna,
Sokovnina Ekaterina Alekseevna**

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

A technical solution of an emergency protection device designed to increase the economy and ecological properties of hydroficated equipment by reducing the fluid leakage in the case of depressurization is proposed. The effect is achieved by controlling the difference between the hydraulic drive pump's outgo and the flow in the drain line with overlapping the access of the fluid to the faulty hydraulic system, if this difference exceeds the permissible value. The device is powered by fluid flow of the pump and consists of mechanical components so that a separate power source and special sensors are not required. The control of the flow difference at the inlet and outlet of hydraulic system prevents false alarms of the device with significant changes in the fluid flow parameters and allows the hydraulic drive to be protected entirely.

Keywords: hydrodrive, depressurization, leakage, control of integrity, protection of hydrosystem, environmental performance.

УДК 66.097.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С КАТАЛИТИЧЕСКИМ УСТРОЙСТВОМ СЖИГАНИЯ

Каменских Александр Дмитриевич, Медяков Андрей Андреевич

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
MedyakovAA@volgatech.net

В статье приводится описание процесса моделирования работы системы теплоснабжения животноводческого комплекса. Представлены графики, отражающие влияние технологических параметров системы теплоснабжения животноводческого комплекса с каталитическим устройством сжигания на параметры энергетической эффективности системы и на параметры, характеризующие стабильность температурных условий в животноводческом комплексе.

Ключевые слова: каталитическое сжигание, система теплоснабжения, математическое моделирование, энергетическая эффективность.

Введение. Предприятия сельскохозяйственного комплекса являются лидерами по объему потребляемой энергии. Значительную долю в общем объеме энергопотребления занимают объекты, занимающиеся разведением и содержанием животных. В среднем на отопление и вентиляцию животноводческого комплекса на 400 голов КРС расходуется 362 тыс. кВт·ч в год. Однако существующие технологии и оборудование, применяемые на крупных фермах, не рассчитаны под специфику работы семейных ферм.

Для комплексного решения проблем очистки вентилируемого воздуха, утилизации органических отходов жизнедеятельности животных и повышения эффективности семейных молочных ферм с биогазовыми установками целесообразно применение устройства каталитического окисления биогаза.

Работа устройства каталитического окисления основана на принципе каталитического горения (окисление топлива на поверхности катализатора).

Устройства каталитического окисления биогаза обеспечивают полноту сгорания биогаза и уменьшение количества вредных выбросов в атмосферу, за счет снижения температуры протекания реакции. При удалении из помещения воздуха с вредными веществами, через устройство каталитического окисления биогаза, происходит его очистка, а после дымовые газы можно использовать для обогрева помещений [1-10].

Цель работы – исследовать особенности работы системы теплоснабжения животноводческого комплекса на базе каталитического устройства сжигания биогаза.

Решаемые задачи:

- 1) разработать общую схему теплоснабжения животноводческого комплекса;
- 2) реализовать в математическую модель в программной среде;
- 3) выполнить вычислительный эксперимент на разработанной математической модели.

Теоретические исследования. При исследовании процессов, протекающих при функционировании системы теплоснабжения животноводческого комплекса с устройством каталитического окисления биогаза, выбран метод математического моделирования, описывающий:

- 1) состояние объекта, на который оказывает воздействие система отопления с устройством каталитического окисления биогаза;
- 2) воздействия, оказываемые системой теплоснабжения с устройством каталитического окисления биогаза на объект теплоснабжения.

Существенными факторами, влияющими на эффективность функционирования технико-технологических систем отопления на базе устройств каталитического окисления биогаза для теплоснабжения животноводческого комплекса, являются [11]:

- обеспечение оптимальной и равномерной температуры в животноводческом комплексе для жизнедеятельности, роста и размножения продуктивных пород сельскохозяйственных животных;
- обеспечение минимального потребления биогенного топлива технико-технологической системой для теплоснабжения животноводческого комплекса (обеспечения условия энергетической эффективности системы теплоснабжения).

Для оптимизации конструктивно-технологических параметров технико-технологических систем с устройством каталитического окисления биогенных газообразных топлив для теплоснабжения животноводческого комплекса необходимо исследовать нестационарный процесс передачи тепловой энергии от системы теплоснабжения к помещению животноводческого комплекса.

Для упрощения описания нестационарных процессов передачи тепловой энергии при функционировании устройства каталитического окисления предлагается использовать метод элементарных балансов. Суть метода в том, что объем помещения животноводческого комплекса разбивается на элементарные геометрические формы, в пределах каждой из которых параметры приближенно принимаются одинаковыми. Величины тепловых потоков, средние за элементарный промежуток времени, являются пропорциональными среднему для этого промежутка температурному градиенту при условии равномерности изменения температур в течение элементарного промежутка времени, а повышение теплосодержания объема пропорциональным повышению его температуры. Это позволяет представить задачу в виде системы уравнений, решение которой представляет собой состояние системы на следующем элементарном промежутке времени [11, 12].

Таким образом, принимаются следующие допущения:

- помещение животноводческого комплекса заменяется дискретной моделью;
- модель времени является дискретной с шагом в интервал моделирования;
- состояние объекта (животноводческого комплекса) изменяется равномерно за интервал моделирования.

В результате помещение животноводческого комплекса и процесс передачи тепловой энергии при обогреве представляется в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1.

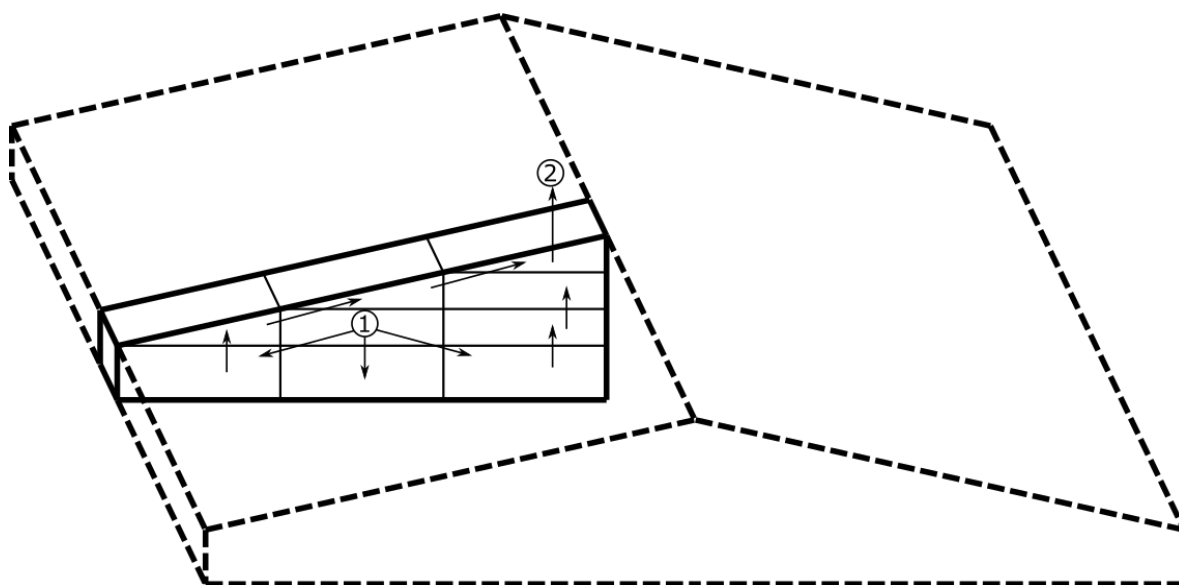


Рисунок 1 – Общая схема процесса теплоснабжения животноводческого комплекса:

1 – место подачи нагретого воздуха в комплекс;

2 – место выхода воздуха из комплекса

В соответствии с принятыми допущениями имитационная математическая модель функционирования технико-технологической системы для теплоснабжения животноводческого комплекса была реализована на ЭВМ в среде Microsoft Office Excel с использованием возможностей встроенного пакета Visual Basic for Application. Внешний вид математической модели представлен на рисунке 2.

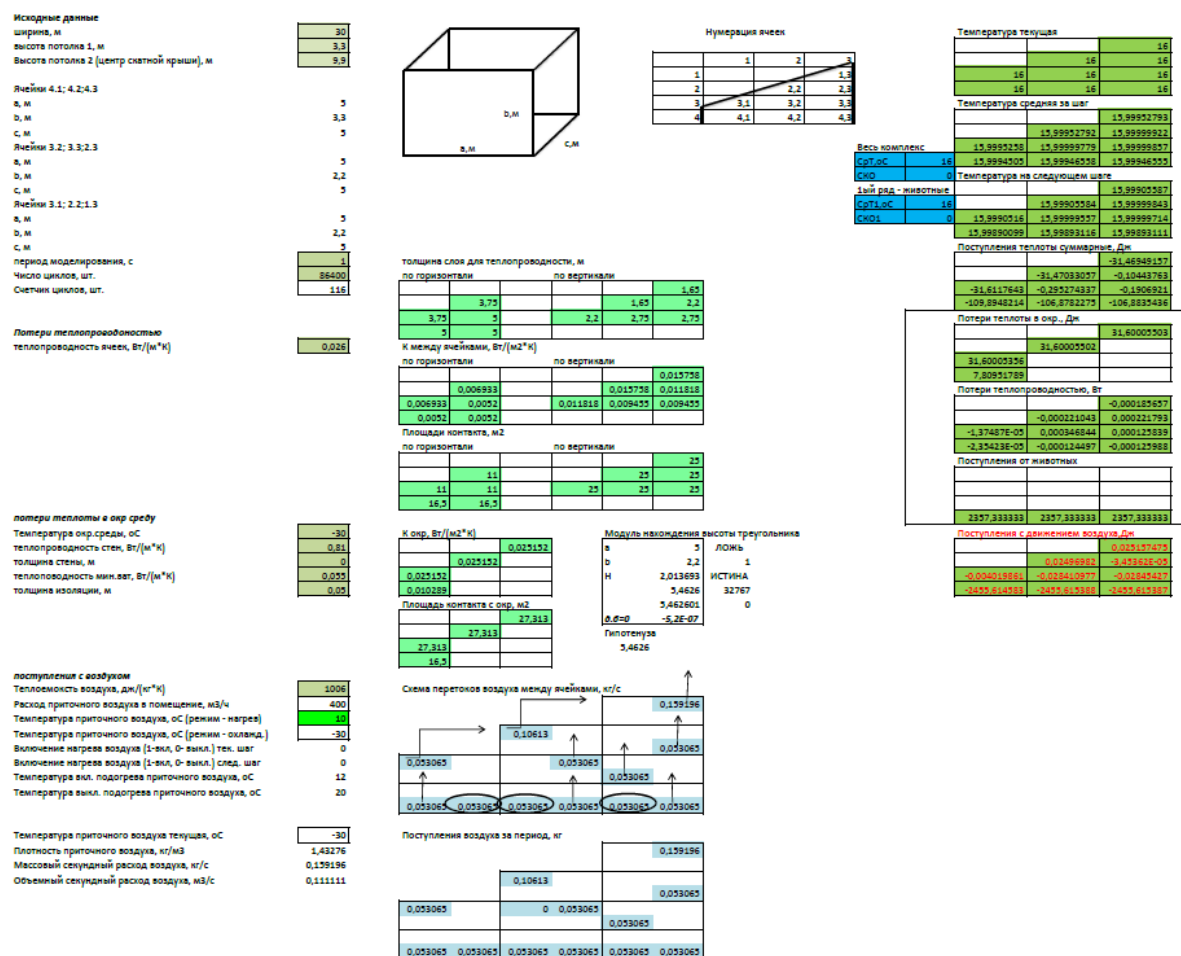


Рисунок 2 – Внешний вид математической модели процесса теплоснабжения животноводческого комплекса

На разработанной математической модели была проведена серия вычислительных экспериментов, в рамках которых моделировался суточный цикл работы системы теплоснабжения животноводческого комплекса при температуре наружного воздуха – 30 °С. В качестве входных факторов вычислительного эксперимента на основании априорного ранжирования были приняты «температура подаваемого воздуха», «расход подаваемого воздуха» на одно животное. Уровни варьирования выбранных входных факторов представлены в таблице.

Уровни варьирования количественных входных факторов вычислительного эксперимента в исследуемой области

№ п/п	Фактор	Уровни варьирования				
		1	2	3	4	5
1	Температура подаваемого воздуха, °С	10	12,5	15	17,5	20
2	Расход подаваемого воздуха, м³/ч	50	55	60	65	70

Для полученных значений отклика средней температуры внутри животноводческого комплекса (СрТ1), средней температуры в зоне пребывания животных (СрТ2), суточного потребления биогаза на теплоснабжение комплекса (расход топлива) построены графики, представленные на рисунке 3.

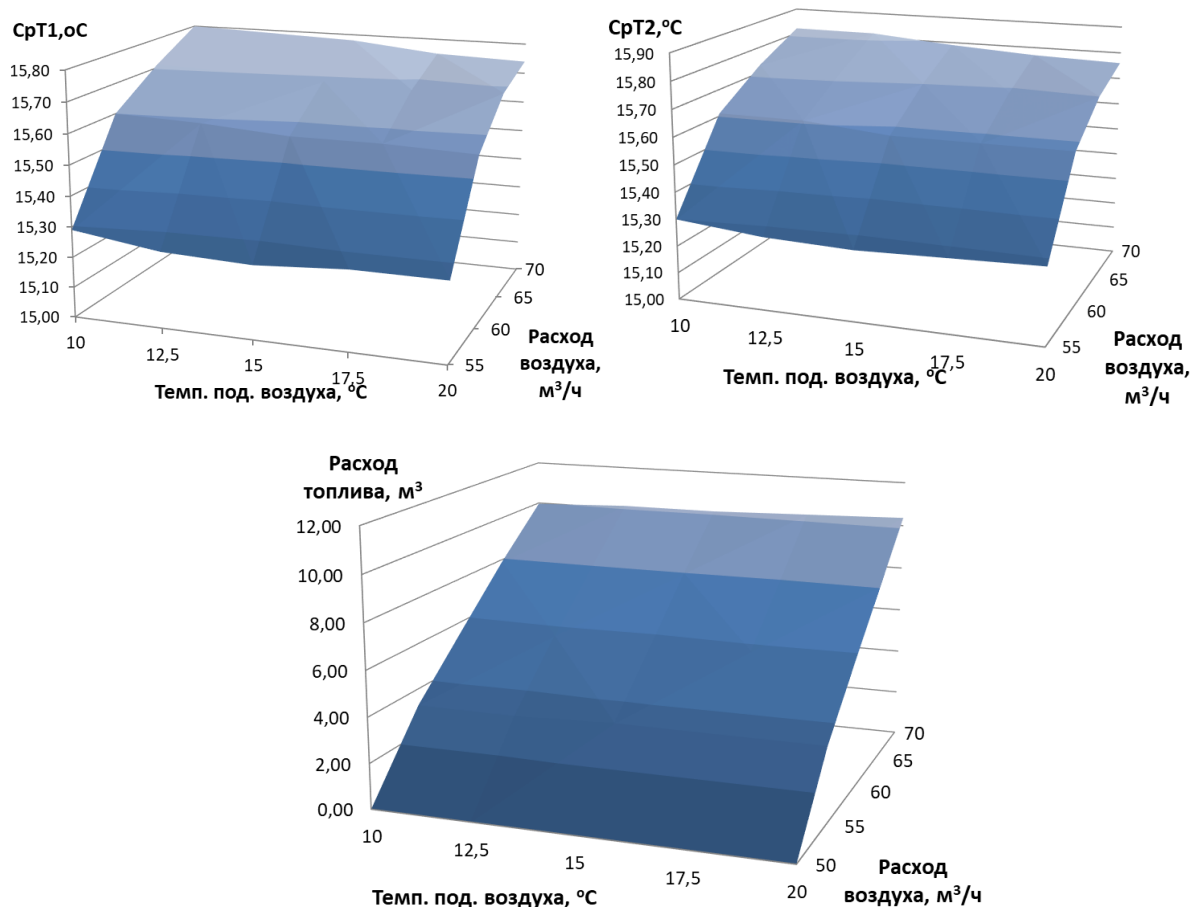


Рисунок 3 – Результаты вычислительного эксперимента

Выводы

1. В ходе исследования была разработана и программно реализована математическая модель процесса работы системы теплоснабжения животноводческого комплекса на базе каталитического устройства сжигания биогаза, которая позволяет оценить эффективность работы системы в зависимости от технологических параметров.

2. По результатам вычислительного эксперимента установлено, что температура подаваемого в помещение воздуха (в выбранном диапазоне моделирования) существенно не влияет на среднюю температуру внутри животноводческого комплекса и на расход потребляемого биогаза, однако изменение расхода подаваемого воздуха оказывает заметное влияние на среднюю температуру внутри животноводческого комплекса и существенное влияние на количество потребляемого топлива.

Список литературы

1. Лукьянов Б. Н. Экологически чистое окисление углеводородных газов в каталитических нагревательных элементах // Химия в интересах устойчивого развития. 2001. № 9. С. 667-677.
2. Van Giezen J.C., Intven M., Meijer M. D. et al. The development of novel metal-based combustion catalysts // Catal. Today. 1999. No. 47. P. 191-197.
3. Zhi-yong P., Chao-yang D. A novel two-stage process for catalytic oxidation of methane to synthesis gas // Ranshao 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. Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН – РЕВЕРС-ПРОЦЕСС - Каталитическая очистка отходящих газов [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.catalysis.ru/block/index.php?ID=3&SECTION_ID=1483, свободный (дата обращения 7.05.2013).
6. Ismagilov Z. R., Kerzhentsev M. A. Fluidized bed catalytic combustion // Catal. Today. 1999. No. 47. P. 339-346.
7. Нестационарные каталитические системы для утилизации биогаза / Ю. Н. Сидыганов, А. А. Медяков, А. Д. Каменских, П. Н. Анисимов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. Краснодар: КубГАУ, 2012. № 04(78). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/46.pdf>, свободный (дата обращения 7.05.2013).
8. Повышение эффективности разрабатываемых каталитических систем для утилизации биогаза / Ю. Н. Сидыганов, А. А. Медяков, А. Д. Каменских, П. Н. Анисимов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. Краснодар: КубГАУ, 2012. № 04(78). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/47.pdf>, свободный (дата обращения 7.05.2013).
9. Медяков А. А., Каменских А. Д. Разработка новых каталитических систем для процессов получения биогаза // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 3. С. 88-94.
10. Сидыганов, Ю. Н., Медяков А. А., Каменских А. Д. Каталитические устройства сжигания для аварийной и технологической утилизации газообразных углеводородов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2014. № 9. С. 34-37.
11. Сидыганов Ю. Н., Онучин Е. М., Каменских А. Д. Имитационная математическая модель функционирования системы теплоснабжения животноводческого комплекса на базе каталитического устройства сжигания // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. Краснодар: КубГАУ, 2014. № 07(101). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/122.pdf>.
12. Имитационная математическая модель функционирования каталитических систем для производства и преобразования энергии при анаэробной переработке органических отходов животноводства / Ю. Н. Сидыганов, А. А. Медяков, Е. М. Онучин, А. Д. Каменских // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета [Электронный ресурс]. Краснодар: КубГАУ, 2013. № 07(91). Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/07/pdf/25.pdf>.

SIMULATION OF HEAT SUPPLY SYSTEMS OF LIVESTOCK COMPLEXES WITH CATALYTIC COMBUSTION SYSTEM

Aleksandr Dmitrievich Kamenskih, Andrey Andreevich Medyakov

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The article describes the process of modeling the operation of the heat supply system of the livestock complex. The graphs reflecting the influence of the technological parameters of the heat supply system of the livestock complex with the catalytic combustion device on the parameters of the system's energy efficiency and on the parameters characterizing the stability of the temperature conditions in the livestock complex are presented.

Keywords: catalytic combustion, heat supply system, mathematical modeling, energy efficiency.

УДК 621.762.8

СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА, ПОЛУЧЕННЫХ ИНФИЛЬТРАЦИЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ НИКЕЛЕМ И МОЛИБДЕНОМ

Соловьева Екатерина Вениаминовна, Довыденков Владислав Андреевич

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
2804106@rambler.ru

Работа посвящена изучению особенностей протекания инфильтрации латунию высокопористых заготовок на основе железа с размерами пор менее 1 мкм, процессов формирования структуры и свойств материалов, дополнительно легированных никелем и молибденом, режимов термической обработки, обеспечивающих высокий уровень физико-механических свойств.

Ключевые слова: композиции, порошки железа, связующее, инфильтрация, псевдосплав, структура, прочность.

Введение. Псевдосплавы на основе железа и меди, полученные с применением инфильтрации, находят все большее применение в промышленности, благодаря сочетанию необходимых эксплуатационных характеристик, недостижимых в традиционных материалах, а также высокой рентабельности их использования. Вместе с тем объем производства этих изделий может быть существенно большим, если бы в существующих технологиях не имели место существенные ограничения по конфигурации изделий. Это обусловлено тем, что для получения заготовок на железной основе для последующей инфильтрации ее медными сплавами обычно используют традиционные процессы прессования и спекания железных порошков средней дисперсности (30-150 мкм). Соответственно, на форму получаемых изделий распространяются известные ограничения по толщине стенок, соотношению толщины и высоты, форме отверстий и т.д. Этих ограничений можно избежать, если при изготовлении заготовок использовать новые технологии порошковой металлургии, основанные на процессах литевого формования изделий сложной формы из композиций, состоящих из тонких порошков (менее 30 мкм) и связующего. Однако высокодисперсные порошки железа для литевых композиций, получаемые, как правило, карбонильным методом, существенно дороже порошков средней дисперсности.

Известно, что литевыми методами могут формироваться не только порошки металлов, но и порошки оксидов. Применение оксидов в качестве компонентов литевых композиций (патент РФ № 2310542) будет существенно уменьшать стоимость сырья. Кроме решения проблемы формообразования изделий такой подход является многообещающим с точки зрения формирования высокодисперсных структур с целью получения материалов с более высокими физико-механическими свойствами.

Цель работы – изучение процесса инфильтрации пористых порошковых материалов медным сплавом высокодисперсных заготовок сложной формы из порошков железа и их оксидов, дополнительно легированных никелем и молибденом и анализ полученных физико-механических свойств материала.

Решаемые задачи: 1) подбор технологического режима инфильтрации пористых порошковых материалов; 2) исследование кинетики процесса инфильтрации пористых

порошковых материалов; 3) исследование влияния дополнительного легирования на процесс инфильтрации и на полученные химические, физико-механические и эксплуатационные свойства; 4) разработка технологии получения порошковых высокопрочных деталей сложной формы.

Аналитическое моделирование. Для описания процесса инфильтрации выбрано нелинейное дифференциальное уравнение второго порядка, которое включает все значимые силы сопротивления: инерцию жидкости в резервуаре (источнике жидкой фазы) и газа в порах каркаса; вязкое трение газа и жидкости в порах каркаса, вес столба жидкости, а также движущую силу инфильтрации – капиллярную силу с учётом релаксации краевого угла смачивания $\theta(t)$ от значения в момент контакта пористого каркаса с жидкостью $\theta(0) = \pi/2$ до равновесного значения θ_p :

$$h_0 h'' + V_0 h' + \frac{hh'}{t_v} + gh = V_k^2 (1 - e^{-t/\tau_\theta}), \quad (1)$$

$$h_0 = \frac{7Bd}{12} + \frac{\rho_\Gamma}{\rho_{ж}} LB^2;$$

$$V_0 = \frac{32LB^2\eta_\Gamma}{d^2\rho_{ж}}; \quad (2)$$

$$t_v = \frac{d^2\rho_{ж}}{32LB^2\eta_{ж}};$$

$$V_k^2 = \frac{4\sigma_{ж}\cos\theta_p}{d\rho_{ж}},$$

где B – коэффициент извилистости пор; d – диаметр пор каркаса, м; ρ_Γ – плотность защитной газовой атмосферы, кг/м³; $\rho_{ж}$ – плотность расплава, кг/м³; L – высота пористого каркаса, м; η_Γ – вязкость защитной газовой атмосферы, Па·с; $\eta_{ж}$ – вязкость расплава, Па·с; $\sigma_{ж}$ – коэффициент поверхностного натяжения расплава, Н/м; θ_p – равновесный краевой угол смачивания, град; τ_θ – время релаксации краевого угла смачивания, с; h, h', h'' – высота, скорость и ускорение подъёма фронта расплава, м, м/с, м/с² соответственно; t – время инфильтрации, с.

При температуре инфильтрации активно протекают диффузионные процессы, вызывающие взаимное легирование железного каркаса и расплава меди, растворение каркаса и жидкофазную перегруппировку частиц каркаса. В процессе инфильтрации происходит изменение размера пор каркаса, а также плотности, коэффициента поверхностного натяжения и вязкости расплава. Учитывая временные изменения физических величин $d = d(t)$, $\rho_{ж} = \rho_{ж}(t)$, $\sigma = \sigma_{ж}(t)$, $\eta_{ж} = \eta_{ж}(t)$ выражения (2) будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} h_0 &= \frac{7Bd(t)}{12} + \frac{\rho_\Gamma}{\rho_{ж}(t)} LB^2; \\ V_0(t) &= \frac{32LB^2\eta_\Gamma}{d^2\rho_{ж}}; \\ t_v(t) &= \frac{d^2(t)\rho_{ж}(t)}{32LB^2\eta_{ж}(t)}; \\ V_k^2(t) &= \frac{4\sigma_{ж}(t)\cos\theta_p}{d\rho_{ж}}. \end{aligned} \quad (3)$$

В процессе изотермической инфильтрации вязкость расплава изменяется от некоторого начального значения $\eta_{ж}(0) = \eta_0 e^{Q/RT}$ до равновесного значения $\eta_{ж}(\infty) = \eta_{ж}(0) \cdot (1 + k_{ж})$, а изменение вязкости расплава в зависимости от температуры, предела растворимости железа в меди, а также концентрации различных функциональных добавок в работе [1] предложено в виде релаксационного уравнения

$$\eta_{\Xi}(t) = \eta_0 \exp\left(\frac{Q}{RT}\right) \cdot (1 + k_{\Xi}(1 - \exp(-t/\tau_{\Xi}))), \quad (4)$$

где Q – энергия активация, Дж/моль; η_0 – предэкспоненциальный множитель, Па·с; $\tau_{жс}$ – время релаксации вязкости расплава, с; $k_{жс}$ – коэффициент увеличения вязкости в процессе инфильтрации.

Изменение размера пор в процессе инфильтрации вследствие жидкофазной перегруппировки от некоторого начального значения $d(0)$ до равновесного значения $d(\infty) = d/(0) \cdot (1 - k_d)$ учитывалось также уравнением релаксации

$$d(t) = d/(0) \cdot (1 - k_d(1 - \exp(-t/\tau_d))), \quad (5)$$

где τ_d – время релаксации размера пор каркаса, м; k_d – коэффициент уменьшения размера пор в процессе инфильтрации.

Можно предположить, что процесс инфильтрации каркасов с субмикрорекристаллическим размером будет иметь свои особенности, обусловленные размерными факторами. Это относится к кинетике инфильтрации, процессам взаимодействия каркаса и инфильтрата, требованиям к технологическим режимам, размерным изменениям инфильтрованных изделий, их структуре и физико-механическим характеристикам.

Техника эксперимента. В качестве исходных компонентов для изготовления инфильтруемых образцов использовали порошок железный А100S, порошок железа (II, III) окись ElectrOxide 20, порошок никелевый ПНК-УТ1, порошок медный ПМС-1, порошок молибденовый МПЧ. Насыпную плотность определяли по ГОСТ 19440-94. В качестве связующего использовали фенолформальдегидную смолу (ФФС) по ГОСТ 20907-75.

Из данных компонентов были изготовлены полуфабрикаты путем смешивания исходных компонентов, сушкой, валкованием и дроблением, с последующим формованием литьевым методом [1]. Композиции формовали прямым пресс-литьем в бруски размерами 10×10×55 мм при давлении до 20 МПа при температурах от 120 до 130 °С с выдержкой от 4 до 6 минут. Далее заготовки подвергали термической обработке с целью удаления связующего и восстановления оксидов. Термическую обработку проводили в три стадии: 1-я стадия – в контейнере с плавким затвором; 2-я стадия – в форвакууме; на 3-й стадии образцы спекались в среде эндогаза [2-3]. Далее образцы подвергали инфильтрации латунию марки Л63 при температуре 950 °С в течение 30 секунд. На образцах после каждой операции определяли плотность, размеры и структуру. Размерные изменения после инфильтрации определяли прямыми измерениями образцов. Структура материалов исследовалась на металлографическом агрегатном микроскопе серии ЕС МЕТАМ РВ, а также на зондовом микроскопе ИНТЕРГА Прима. В работе применяли сканирование контактным методом.

Интерпретация результатов. Структура исследуемых образцов для инфильтрации (рис. 1) представляет собой два взаимопроникающих каркаса из частиц железа средней дисперсности (30÷150 мкм) и каркас из губчатого железа с размерами пор ме-

нее 1 мкм, полученного в результате низкотемпературного восстановления высокодисперсного оксида железа углеродом – продуктом пиролиза фенолформальдегидной смолы. Размеры пор высокодисперсного железа составляют 0,05-0,20 мкм, что позволяет говорить о получении пористой (58-62 %) нанодисперсной структуры.

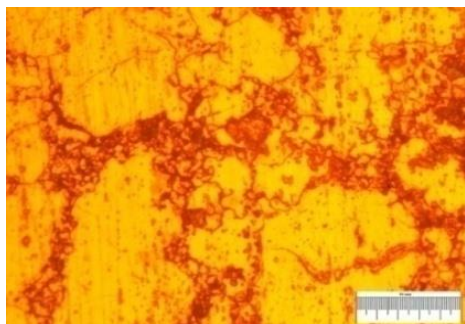


Рисунок 1 – Структура образца для инфильтрации ($\times 200$)

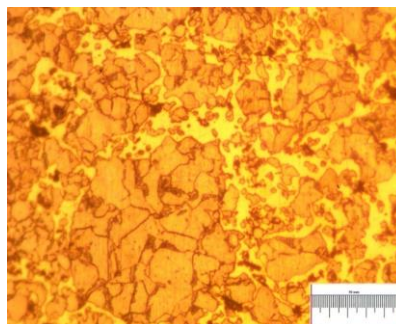


Рисунок 2 – Структура образца, дополнительно легированного Ni, Mo ($\times 400$)

Легирование осуществляли путем введения в композиции порошков легирующих элементов на стадии смешивания. При инфильтрации [4] таких материалов губчатое железо частично растворяется, в результате высвобождается энергия и, соответственно, имеет место локальное повышение температуры системы «губчатое железо – латунь», что интенсифицирует процесс инфильтрации за счет увеличения размера поровых каналов и уменьшения вязкости жидкой фазы.

После инфильтрации и последующей термической обработки структура псевдосплава (рис. 2) состоит из четырех фаз: частиц железа средней дисперсности размером $30\div 150$ мкм, фазы на основе меди, не растворившихся частиц губчатого железа размером $1\div 8$ мкм и сферических частиц железа, выделившихся из пересыщенного раствора размером $1\div 5$ мкм, упрочняющие фазу на основе меди.

Применение дополнительного легирования и дополнительной термической обработки (ТО): закалка в воду образцов, нагреваемых до 800-850 °С, и старение при 400-450 °С в течение 4 часов – позволяет существенно повысить механические свойства материала (табл. 1).

Таблица 1

Механические свойства образцов, полученных с применением различных технологических режимов

Показатель	Твердость НВ, МПа	Предел прочности при растяжении σ_B , МПа, не менее	Относительное удлинение, %, не менее
После инфильтрации (нагрев 950 °С, выдержка 60 с)	98-123	280	7,0
После инфильтрации (нагрев 950 °С, выдержка 60 с) и ТО (закалка в воду при 800-850 °С и старение при 400-450 °С, выдержка 4 ч)	210-221	340	11,0
Дополнительно легированный Ni и Mo, после инфильтрации (нагрев 950 °С, выдержка 60 с) и ТО (закалка в воду при 800-850 °С и старение при 400-450 °С, выдержка 4 ч)	296-310	710	10,0
Материал Catamold (R), (Fe – основа, Ni – 2 %), после термообработки, фирма BASF	110-120	380	3

Данные таблицы 1 подтверждают, что разработанные материалы не уступают по механическим свойствам материалам, изготовленным по МИМ-технологии.

В таблице 2 приведены результаты измерения микротвердости образцов после дополнительной термической обработки после инфильтрации и дополнительного легирования Ni, Mo. Микротвердость определяли отдельно на частицах железа средней дисперсности, на частицах и агломератах нерастворенного губчатого железа и на медной фазе.

Таблица 2

Значения микротвердости образцов, МПа

Фаза	КМ после инфильтрации (нагрев 950 °С, выдержка 60 с)	КМ после инфильтрации (нагрев 950 °С, выдержка 60 с) и ТО (закалка в воду при 800-850 °С и старение при 400-450 °С, выдержка 4 ч)	КМ, дополнительно легированный Ni и Mo, после инфильтрации (нагрев 950 °С, выдержка 60 с) и ТО (закалка в воду при 800-850 °С и старение при 400-450 °С, выдержка 4 ч)
Частица Fe (30-150 мкм)	162,3	169,5	173,4
Частицы и агломераты нерастворенного губчатого железа	207,6	250,7	328,2
Фаза на основе меди	115,6	141,8	146,9

Результаты исследований показали, что применение дополнительной термической обработки и легирования приводит к увеличению значений микротвердости частиц железа, выделившихся из медного расплава при охлаждении, и фазы на основе меди, а микротвердость частиц железа средней дисперсности (30-150 мкм) изменяется незначительно.

Выводы

1. Применение дополнительного легирования никелем и молибденом и термической обработки обеспечивает высокий уровень прочности материалов.
2. Разработанная технология существенно расширяет возможности порошковой металлургии при производстве деталей машин.
3. Разработаны составы рецептур исходных компонентов для получения материалов с высокими механическими свойствами (твердость HB = 290÷310 МПа, предел прочности на разрыв $\sigma_b = 710\div 720$ МПа и относительное удлинение $\delta > 10,0$ %).
4. Разработаны требования к оборудованию для проведения операции инфильтрация: печь проходного типа (АГАТ, АЛУНД), а для последующей термической обработки муфельная печь.

Список литературы

1. Довыденков В. А., Зверева О. С. Технология изготовления деталей сложной формы путем формования и спекания композиций из порошков железа, его оксидов и связующего // Порошковая металлургия. 2013. № 9/10. С. 137-143.
2. Довыденков В. А., Соловьева Е. В. Влияние технологических режимов на структуру и свойства псевдосплава на основе железа и меди // Материалы I-й Международной научно-практической конференции «Современные технологии в машиностроении и литейном производстве» (Чебоксары 22-24 октября 2015 г.) / под ред. д.т.н., проф. И. Е. Илларионова. Чебоксары: Чуваш. гос. ун-т, 2015. С. 294-299.

3. Кононов Г. Н., Федотов А. А., Угрюмов С. А. Химические процессы, протекающие при горячем прессовании в структуре древесно-стружечных плит на основе фурфуролацетонового мономера ФА // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. Йошкар-Ола, 2013. № 3(19). С. 65-71.

**PROPERTIES OF MATERIALS BASED ON IRON, OBTAINED BY INFILTRATION
WITH THE USE OF ADDITIONAL ALLOYING OF NICKEL AND MOLYBDENUM**

Solov'eva Ekaterina Veniaminovna, Dovydenkov Vladislav Andreevich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

This study focuses on characteristics of the flow of the infiltration of highly porous brass billets on the basis of iron with pore sizes less than 1 micron, processes of formation of structure and properties of materials, optionally doped with nickel and molybdenum, heat treatment, providing a high level of physical and mechanical properties.

Keywords: *composition, iron powder, binder, infiltration, a pseudo-alloy, structure, strength.*

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

УДК 512.573:519.876.5

СТРОЕНИЕ МНОЖЕСТВА РИСКОВ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ

Бородин Андрей Викторович

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
bor@mari-el.com

Работа посвящена исследованию строения множества абстрактных рисков развития дискретных систем с теоретико-множественной точки зрения. Используя методы теории информации, исследованы компоненты разбиения пространства рисков. Показана актуальность энтропийных подходов при анализе риска.

Ключевые слова: алгебраическая теория риска, вероятностная неопределенность, дискретная система, изоморфизм, информационная энтропия, коммутативный моноид, мультимножество, риск, сложность, состояние системы, фактор-структура.

Введение. В монографии [11] предложен максимально общий формализм, позволяющий, с одной стороны, проследить пути генезиса риска как феномена сознания, а с другой – сформировать новые, более эффективные подходы к решению вычислительных задач теории риска дискретных систем в условиях вероятностной неопределенности. Этот формализм получил название «алгебраическая теория риска» (АТР).

Практика подтвердила плодотворность использования идей АТР как в социально-экономической сфере (финансовые приложения [9, 10, 13, 14], задачи управления персоналом [1, 2, 6]), так и при исследовании технических систем [3, 5, 12, 15].

Важнейшими абстракциями АТР являются понятия риска, множества рисков и алгебраической операции умножения рисков, интерпретируемой в терминах предметной области как операция вычисления совместного риска.

Риски в АТР представляются мультимножествами, носитель которых суть подмножество прямого произведения $C \times \mathbb{I}$, где множество всех отображений состояния системы на себя C вместе с операцией композиции этих отображений образует коммутативный моноид, а $\mathbb{I} = 0, 1 \subset \mathbb{R}$ – единичный отрезок, где $\mathbb{R}$ – множество действительных чисел. Соответственно, множество рисков представляет из себя множество мультимножеств вида

$$\mathfrak{R} = \left\{ R : R \in \mathfrak{A}, \sum_{x \in \text{Supp } R} k_R(x) \text{pr}_{\mathbb{I}} x = 1 \right\},$$

где $\mathfrak{A} = \{ A : \text{Supp } A \subset C \times \mathbb{I} \}$;

$\text{Supp } A$ – носитель мультимножества A ;

$k_R(x)$ – кратность элемента x в мультимножестве R ;

$\text{pr}_{\mathbb{I}} x$ – проекция элемента x на множество $\mathbb{I}$.

Таким образом, очевидно, что $\mathfrak{R}$ – это множество всех возможных дискретных вероятностных распределений над $\mathcal{C}$ или, иначе множество всех возможных распределений вариантов развития дискретной системы.

Над $\mathfrak{R}$ можно определить операцию умножения (вычисления совместного риска):

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} \stackrel{\text{Def}}{=} \left\{ \begin{array}{l} k_{\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}}(u) * u : k_{\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}}(u) = \sum_{\substack{x \in \text{Supp } \mathbf{A}, \\ y \in \text{Supp } \mathbf{B}, \\ xy=u}} k_{\mathbf{A}}(x) k_{\mathbf{B}}(y), \\ u \in \bigcup_{\substack{x \in \text{Supp } \mathbf{A}, \\ y \in \text{Supp } \mathbf{B}}} \{xy\} \end{array} \right\}.$$

Здесь произведение элементов определено следующим образом:

$$z = x \cdot y \stackrel{\text{Def}}{\Leftrightarrow} \text{pr}_{\mathcal{C}} z = \text{pr}_{\mathcal{C}} y \circ \text{pr}_{\mathcal{C}} x, \quad \text{pr}_{\mathbb{I}} z = \text{pr}_{\mathbb{I}} x \cdot \text{pr}_{\mathbb{I}} y.$$

В монографии [11] доказано, что алгебра $\langle \mathfrak{R}, \cdot \rangle$ – коммутативный моноид. Использование этого факта, а также развитие соответствующей теории позволили разработать ряд новых, более эффективных алгоритмов анализа риска.

В то же время за пределами исследования [11] остался вопрос строения множества $\mathfrak{R}$. Исследование строения множества $\mathfrak{R}$ носит не только фундаментальный характер, но и, как будет показано ниже, имеет непосредственное практическое значение, так как оно связано с такими характеристиками риска, как сложность и энтропия.

Цель исследования. Введем в рассмотрение множества рисков с одинаковым (фиксированным) количеством возможных исходов:

$$\mathfrak{R}^{\#k} \stackrel{\text{Def}}{=} \left\{ \mathbf{R} : \mathbf{R} \in \mathfrak{R}, |\mathbf{R}| = k \right\}, \quad k \in \mathbb{Z}_0^+,$$

где $\mathbb{Z}_0^+$ – множество неотрицательных целых чисел.

Используя это определение, можно ввести на множестве рисков $\mathfrak{R}$ отношение совпадения количества исходов:

$$\mathbf{R}_1 \# \mathbf{R}_2 \stackrel{\text{Def}}{\Leftrightarrow} \exists k \left(\mathbf{R}_1 \in \mathfrak{R}^{\#k}, \mathbf{R}_2 \in \mathfrak{R}^{\#k} \right).$$

Очевидно, что фактор-моноид $\langle \mathfrak{R}, \cdot \rangle / \#$ изоморфен моноиду $\langle \mathbb{Z}_0^+, \times \rangle$. Это тривиальная характеристика строения множества рисков.

Возможны ли менее тривиальные характеристики строения множества рисков? Если возможны, то каковы особенности выявленных компонент? Ответы на эти вопросы являются целью настоящей работы.

Не совсем тривиальная характеристика множества рисков. Отметим, что данная работа обобщает и существенно уточняет результаты, опубликованные автором в статье [4]. Введем в рассмотрение еще одну разновидность подмножеств множества рисков – множество рисков, включающее все совместные риски из двух множеств с фиксированными количествами исходов:

$$\mathfrak{R}^{\#m\#n} \stackrel{\text{Def}}{=} \mathfrak{R}^{\#m} \cdot \mathfrak{R}^{\#n} \stackrel{\text{Def}}{=} \left\{ \mathbf{R}_1 \cdot \mathbf{R}_2 : \mathbf{R}_1 \in \mathfrak{R}^{\#m}, \mathbf{R}_2 \in \mathfrak{R}^{\#n} \right\}.$$

Докажем, что $\mathfrak{R}^{\#m\#n} \subset \mathfrak{R}^{\#mn}$, или, иначе, $\mathfrak{R}^{*mn} \underset{Def}{=} \mathfrak{R}^{\#mn} \setminus \mathfrak{R}^{\#m\#n} \neq \emptyset$. Для

этого рассмотрим два мультимножества из $\mathfrak{R}$:

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_1 &= \{k_{11} * (c_{11}, p_{11}), k_{12} * (c_{12}, p_{12}), \dots, k_{1i} * (c_{1i}, p_{1i})\}, \\ \mathbf{R}_2 &= \{k_{21} * (c_{21}, p_{21}), k_{22} * (c_{22}, p_{22}), \dots, k_{2j} * (c_{2j}, p_{2j})\}, \end{aligned}$$

а также их произведение:

$$\mathbf{R}_1 \bullet \mathbf{R}_2 = \{k_1 * (c_1, p_1), k_2 * (c_2, p_2), \dots, k_n * (c_n, p_n)\}.$$

Не снижая общности, предположим, что эти мультимножества не содержат незначимых с теоретико-вероятностной точки зрения элементов, иначе говоря, элементов с нулевой второй компонентой. Далее, полагая, что элементы этих трех мультимножеств упорядочены по возрастанию своей второй компоненты, можно говорить о совместности следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} p_{11} p_{21} = p_1, \\ p_{1i} p_{2j} = p_n, \\ p_{11} p_{2j} = p_r, \\ p_{1i} p_{21} = p_s, \end{cases}$$

где $r, s \in \{2, 3, \dots, n-1\}$.

Перемножив левые и правые части первого и второго, а также третьего и четвертого уравнений в системе и сравнив полученные уравнения между собой, получаем условие совместности системы:

$$p_1 p_n = p_r p_s, \quad r, s \in \{2, 3, \dots, n-1\}.$$

Это условие выполняется далеко не при всех фиксированных ненулевых p_i , $i = 1, 2, \dots, n$, что доказывает выше сформулированное утверждение.

Известно, что множество целых неотрицательных чисел можно разбить следующим образом [8]:

$$\begin{aligned} \mathbb{Z}_0^+ &= \{0, 1\} \cup \mathbb{P} \cup \{p^e : p \in \mathbb{P}, e \in \mathbb{N}_{>1}\} \cup \\ &\cup \left\{ \prod_{i=1}^n p_i^{e_i} : p_i \in \mathbb{P}, e_i \in \mathbb{N}, i = 1, 2, \dots, n, n \in \mathbb{N}_{>1} \right\}, \end{aligned}$$

где $\mathbb{P} = \{2, 3, 5, 7, 11, 13, \dots\}$ – множество простых чисел;

$\mathbb{N} = \mathbb{Z}^+$ – множество натуральных (целых положительных) чисел;

$\mathbb{N}_{>1} = \mathbb{N} \setminus \{1\}$ – множество натуральных чисел, больших единицы.

Воспользовавшись этим разбиением и ранее доказанным утверждением, множество рисков можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} \mathfrak{R} &= \{\emptyset\} \cup \mathfrak{R}^{\#1} \cup \bigcup_{p \in \mathbb{P}} \mathfrak{R}^{\#p} \cup \bigcup_{\substack{p \in \mathbb{P}, \\ e \in \mathbb{N}_{>1}}} \left[(\mathfrak{R}^{\#p})^e \cup \mathfrak{R}^{*p^e} \right] \cup \\ &\cup \bigcup_{n \in \mathbb{N}_{>1}} \bigcup_{\substack{p_i \in \mathbb{P}, \\ e_i \in \mathbb{N}, \\ i = 1, 2, \dots, n}} \left[\prod_{i=1}^n (\mathfrak{R}^{\#p_i})^{e_i} \cup \mathfrak{R}^{*(\prod_{i=1}^n p_i^{e_i})} \right]. \end{aligned}$$

Эта характеристика строения множества рисков уже не является тривиальной, она содержит члены, которые, будучи принадлежащими одному классу эквивалентности фактор-моноида $\langle \mathfrak{R}, \bullet \rangle / \equiv$, существенно отличаются друг от друга по характеристике сложности.

Теоретико-информационный анализ компонент множества рисков. Введем две специальные константы. Пусть H_0 – информационная энтропия процедуры равновероятного выбора одного из натуральных чисел, H_1 – информационная энтропия процедуры равновероятного выбора некоторого действительного числа. Используя введенные константы, можно вычислить энтропийные характеристики элементов составных частей множества рисков $\mathfrak{R}$, полученных в рамках нетривиального разбиения. Эти характеристики приведены в таблице.

Энтропийные характеристики составных частей множества рисков

Номер компоненты	Компонента разбиения	Мощность мультимножеств, принадлежащих компоненте	Информационная энтропия мультимножеств
1	$\{\emptyset\}$	0	0
2	$\mathfrak{R}^{\#1}$	1	H_1
3	$\mathfrak{R}^{\#p}$	p	$p H_1 + (p-1) H_1 = (2p-1) H_1$
4	$\prod_{i=1}^n (\mathfrak{R}^{\#p_i})^{e_i}$	$\prod_{i=1}^n p_i^{e_i}$	$\sum_{i=1}^n [p_i H_1 + (p_i - 1) H_1 + H_0] = n H_0 + H_1 (2 \sum_{i=1}^n p_i - n)$
5	$\mathfrak{R}^{*(\prod_{i=1}^n p_i^{e_i})}$	$\prod_{i=1}^n p_i^{e_i}$	$H_1 \prod_{i=1}^n p_i^{e_i} + (\prod_{i=1}^n p_i^{e_i} - 1) H_1 = (2 \prod_{i=1}^n p_i^{e_i} - 1) H_1$

Нетрудно заметить, что информационная энтропия элементов пятой компоненты больше энтропии элементов четвертой компоненты при равных мощностях мультимножеств. Фундаментальное значение этого отличия заключается в способности объяснить, почему порой с виду риски одинаковой сложности управляются по-разному: для одних рисков иногда легко удастся найти схему компенсации, для других, случается, что не удастся вообще. Например, одно дело – розничный кредитный портфель [9, 14], состоящий из 1000 однородных договоров (2^{2000} исходов, сложность $7H_1$), и совсем другое – инвестиционный проект длительностью в 1 год, когда в течение каждого рабочего дня происходит одно или несколько случайных событий, каждое из которых влияет на будущее развитие проекта (исходов не менее 240, сложность, как правило, не менее $479H_1$). Еще один пример из этой области – конкурентные преимущества, возникающие при реализации концепции управляемого контракта [7, 16].

Выводы. Подводя итог, отметим, что нами было изучено строение универсального множества абстрактных рисков развития дискретных систем в контексте аналогии с факторизацией целых чисел. Обнаружены отличия потенциала факторизации рисков и целых чисел в пределах класса эквивалентности рисков и изоморфного ему целого неотрицательного числа. Выявленное отличие охарактеризовано разбиением соответствующего класса эквивалентности на два подмножества, элементы которых значи-

тельно отличаются значением информационной энтропии. Учитывая, что использование энтропийной меры риска наряду с традиционными позволяет более точно управлять рисками, в том числе в условиях неполной или некачественной информации [16], можно говорить о фундаментальной роли данного исследования для развития АТР.

Все представленные в данной статье результаты являются новыми. Новизна определяется отсутствием в открытой мировой литературе исследований, аналогичных развитию АТР в [11], которая, в свою очередь, послужила основой для данной работы.

Список литературы

1. Бородин А. В. Архитектура информационной системы поддержки принятия решений по управлению персоналом розничной подсистемы коммерческого банка // Программные системы и вычислительные методы. 2014. № 2. С. 174-190. DOI: 10.7256/2305-6061.2014.2.12331.
2. Бородин А. В. Модели управления персоналом в розничной подсистеме коммерческого банка // Экономика и социум: современные модели развития общества в аспекте глобализации: материалы III международной научно-практической конференции (12 февраля 2014 г.). Саратов: Академия Бизнеса, 2014. С. 26-31.
3. Бородин А. В., Зубьяк Д. Р. Стохастическое моделирование в задачах синтеза оптимальных топологий сетей дистрибуции точного времени // Технические науки – от теории к практике. 2014. № 34. С. 7-15.
4. Бородин А. В. Строение множества рисков над полем действительных чисел // Приоритетные направления развития науки и образования: материалы IX Международной научно-практической конференции (Чебоксары, 26 авг. 2016 г.). Чебоксары: Интерактив плюс, 2016. № 2(9). С. 13-17. DOI: 10.21661/r-112917.
5. Бородин А. В. Техничко-экономическое обоснование варианта резервирования сетевой компоненты отказоустойчивой масштабируемой вычислительной системы специального назначения // Кибернетика и программирование. 2015. № 6. С. 55-70. DOI: 10.7256/2306-4196.2015.6.17523.
6. Бородин А. В. Управление HR-процессом в коммерческом банке на основе технологий имитационного моделирования // Технические науки – от теории к практике. 2014. № 32. С. 7-14.
7. Варьяш И. Ю. Управляемый контракт // Банковские технологии. 2005. № 7. С. 28-35.
8. Виноградов И. М. Основы теории чисел. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1952. 181 с.
9. Уразаева Т. А. Алгебраическая система рисков и ее приложения в сфере кредитования // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Экономика и управление. 2012. № 1(15). С. 24-31.
10. Уразаева Т. А., Бородин А. В. Алгебраические аспекты имитационного моделирования портфелей срочных финансовых инструментов // Материалы конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика». ИММОД-2013. Т. 1. Казань: Издательство «Фэн» Академии наук РТ, 2013. С. 282-286.
11. Уразаева Т. А. Алгебра рисков: теория и алгоритмы. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2013. 208 с.
12. Уразаева Т. А. Инструментальные методы анализа риска в экономике безопасности вычислительных сетей // III Международная научно-практическая конференция «Инновационное развитие Российской экономики». Ч. 1. М.: Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, 2010. С. 246–250.
13. Уразаева Т. А. Концепция управления концентрацией продаж банковских продуктов на рынке потребительского кредитования // Россия в глобальном мире: вызовы и перспективы развития. Четырнадцатые Вавиловские чтения: материалы постоянно действующей Всероссийской междисциплинарной научной конференции. Ч. 2. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. С. 213-215.

14. Уразаева Т. А. Масштабные эффекты в розничном кредитном портфеле // Современные проблемы и перспективы социально-экономического развития предприятий, отраслей, регионов. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2013. С. 382-387.

15. Уразаева Т. А. Модели риска в технико-экономическом обосновании инфраструктурных решений // Современные проблемы и перспективы социально-экономического развития предприятий, отраслей, регионов: сборник статей. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2015. С. 161-164.

16. Уразаева Т. А. Риск, вероятностная неопределенность и неопределенность вероятностных мер в портфельном анализе // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: труды международной научной школы МА БР-2007. СПб.: ГУАП, 2007. С. 224-227.

STRUCTURE OF THE SET OF RISKS OF THE DISCRETE SYSTEMS

Borodin Andrey Viktorovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

Operation is devoted to a research of a structure of a set of the abstract risks of evolution of the discrete systems from the set-theoretic point of view. Using information theory methods, components of partition of space of risks are probed. Relevance of entropy approaches in case of risk analysis is shown.

Keywords: algebraic theory of risk, probable uncertainty, discrete system, isomorphism, entropy, commutative monoid, multiset, risk, complexity, state of system, quotient algebra.

УДК 004.93

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Васяева Наталья Семеновна, Скулкин Максим Феликсович

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
mazain_92@mail.ru

В статье проводится анализ различных искусственных нейронных сетей для задач построения систем обнаружения лиц.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети; обнаружение лиц; вейвлеты Габора.

Введение. В последние несколько лет распознавание лиц получило значительное внимание со стороны ученых и рассматривается как одно из самых успешных применений в области анализа изображений. Человеческие лица представляют собой сложную многомерную выразительную визуальную модель. Разработка математической модели для распознавания лиц является сложным процессом. Обнаружение лица может рассматриваться как фундаментальная часть системы распознавания лиц по своей способности сосредоточить вычислительные ресурсы на части изображения, содержащей лицо. Процесс обнаружения лиц на изображениях является сложным из-за разнообразия поз, выражений лиц, положений и ориентаций, цвета кожи, наличия очков или лицевых волос, различия камер, освещенности и разрешения изображения. Анализ выражения лица является первостепенной задачей в психологических исследованиях в

последние годы. В то же время наблюдается прогресс во многих областях, таких как обнаружение, отслеживание и распознавание лица, распознавание образов, обработка изображений, что в значительной мере способствовало исследованиям в области автоматического распознавания выражения лица.

Перед распознаванием должно быть выполнено обнаружение лица. Это необходимо, чтобы извлечь релевантную информацию для анализа выражения лица. Существуют два класса методов для представления лиц и извлечения релевантной информации. Геометрическое извлечение признаков опирается на такие отличительные черты, как глаза, рот и нос. В то же время лицо представляется как предварительно обработанный массив пикселей с соответствующими значениями интенсивности. Этот массив сравнивается с шаблоном с использованием соответствующей метрики. Поэтому в последнее время было разработано множество приложений различной сложности, основанных на обнаружении лица, таких как системы видеонаблюдения, цифровой мониторинг, интеллектуальные роботы, ноутбуки, веб-камеры, цифровые камеры и мобильные телефоны. Эти приложения играют важную роль в нашей жизни. Тем не менее алгоритмы приложений сложны и трудны для работы в режиме реального времени с определенной частотой кадров. За последние десятилетия были предложены множества подходов для повышения эффективности распознавания лиц. В то же время многие исследования были сфокусированы на изучении методов детектирования лиц.

В последние годы в области обработки изображений и распознавания образов в значительной степени использовались искусственные нейронные сети (ИНС). Для достижения более высокой производительности применяются различные нейросетевые архитектуры и модели для распознавания и обнаружения, такие как коэффициент сжатия, реконструкция качества изображения, и вычисление среднеквадратической ошибки.

В настоящий момент в доступных источниках недостаточно информации, дающей общее представление об исследованиях, связанных с использованием ИНС при распознавании лиц. Данная статья включает в себя общий обзор исследований, связанных с обнаружением лиц, и систем, основанных на различных нейросетевых методах и алгоритмах.

Цель работы – сравнить различные методы обнаружения лиц, основанные на искусственных нейронных сетях.

Решаемые задачи: 1) обзор основных методов обнаружения лиц, основанных на искусственных нейронных сетях; 2) сравнение выделенных нейросетевых методов обнаружения лиц; 3) определение наиболее точного метода обнаружения лиц.

Аналитическое моделирование. На рисунке 1 показана общая система распознавания лиц, включающая в себя следующие этапы: обнаружение лица, выделение признаков и распознавание. Распознавание лиц включает множество дополнительных частей, каждая из которых дополняет другую. В зависимости от системы каждая часть может работать индивидуально. Обнаружение лиц – это компьютерная технология, которая базируется на алгоритмах обучения для выделения человеческих лиц на цифровых изображениях.

При обнаружении лиц в качестве входных данных принимаются изображения/видео, и в этих образах происходит поиск лиц. Это делается путем разделения областей, содержащих лица, от других областей изображения. Затем определяются позиции основных черт лица (глаза, рот, нос и брови) в обнаруженном лице. Функция извлечения упрощает нормализацию области, где обнаружено лицо, выравнивая

его по координатной основе для сокращения расхождений, вызванных различиями лиц и поз. Точность местоположения характерных точек черт лица обеспечивает необходимые входные параметры для идентификации лица. Другая сторона задачи анализа – анализ выражения лица – может быть упрощена за счет точной локализации черт лица.

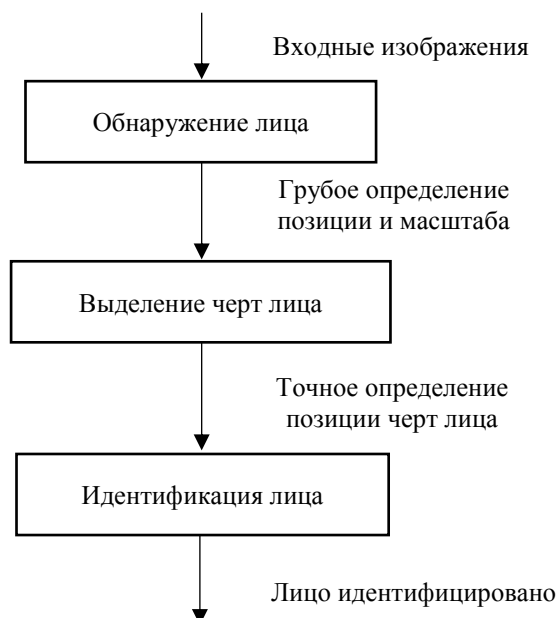


Рисунок 1 – Основа системы распознавания лиц

Техника эксперимента. В зависимости от типа нейронной сети на ее вход подаются различные по размеру и масштабу изображения, содержащие или не содержащие лица людей.

Интерпретация результатов. В данной статье приведена сравнительная характеристика исследований искусственных нейронных сетей для построения систем обнаружения лиц. Каждое из этих исследований основано на особой архитектуре ИНС для обнаружения лиц. Многие из этих исследований основаны на одной архитектуре ИНС, таких как многослойный персептрон, метод обратного распространения ошибки, связанные нейронные сети, нейронные сети инвариантного вращения, быстрые нейронные сети, сверточные нейронные сети, полиномиальные нейронные сети. Некоторые исследования основаны на ИНС в сочетании с другими приемами и методами – анализом главных компонент, эволюционной оптимизацией, вейвлетами Габора и анализом цвета кожи.

В таблице приведены сведения о топологии, обучающих и тестовых выборках и точности систем обнаружения, приведенных в этих исследованиях. Количество образцов отличается от одного исследования к другому. Так, в исследовании [9] используются только 50 образцов изображений, в то время как в других исследованиях, например [2, 4], используется более одного набора изображений в качестве образцов.

Согласно данным таблицы, факторы, используемые для оценки производительности, отличаются от одного исследования к другому. Во многих исследованиях применяется коэффициент обнаружения, в других используются ложные срабатывания и т.д.

Наборы изображений и показатели эффективности в исследованиях

Топология	Обучающая и тестовая выборки	Процент распознавания	Процент ошибок
Связанные нейронные сети	Выборка А: 42 сканированные фотографии. Выборка В: 23 изображения, содержащие 155 лиц. Выборка С: 65 изображений со сложным фоном и без лиц	78,9-90,5	-
Анализ главных компонент с ИНС	Выборка из 700 изображений с 1488 лицами, 700 изображений со случайными шумами и 788 изображений с лицами и случайным шумом	-	2,23
Полиномиальные нейронные сети	Первый набор: 3257 изображений 384×384, загруженных с нескольких сайтов, с одним лицом на каждом изображении. Второй набор: 130 изображений, загруженных с сайта cmu.edu	84,6	3,51 % ложных срабатываний
Сверточные нейронные сети	Выборка из 2900 изображений для слоя FD2, 5290 для FD3, 14700 с лицами и 137 без лиц для слоя FD4	97,6	-
Нейронные сети с обратным распространением ошибки	Обучающая выборка: 12000 изображений лиц, собранных из различных БД лиц с масштабированными версиями одного лица (с коэффициентом 0,8-1,12). Тестовая выборка: 500 изображений с лицами и 4000 без лиц	94	-
Вейвлеты Габора	Обучающая выборка: 400 фронтальных изображений лиц. Тестовая выборка: 130 изображений	77,9-90,3	-
Многослойный перцептрон	Обучающая выборка: масштабированные изображения лиц из базы данных Массачусетского технологического института (МТИ). Тестовая выборка: 2000 изображений с лицами и без из БД МТИ	91,6	7,54
Цвет кожи с методом обратного распространения ошибки	Обучающая выборка: 50 реальных изображений, сделанных в разных условиях освещения	97,3	-

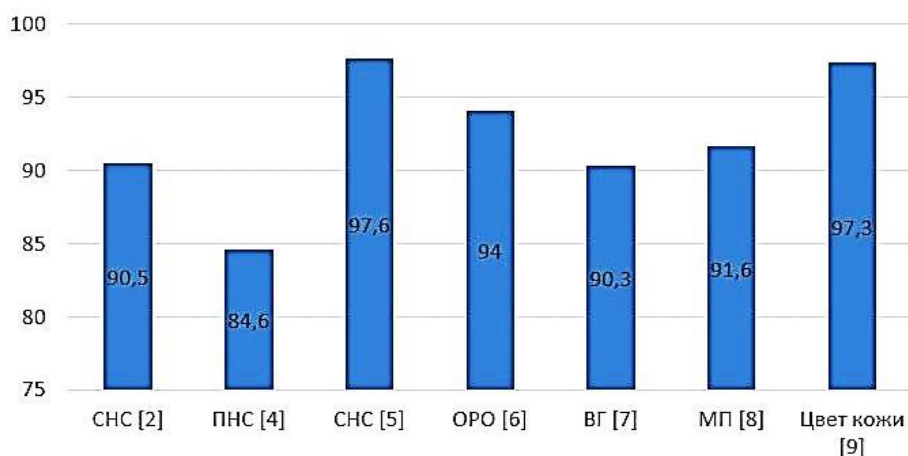


Рисунок 2 – Частота обнаружения в различных исследованиях

На рисунке 2 показана частота обнаружения в различных подходах ИНС из исследований. Можно заметить, что высокая скорость обнаружения лиц может быть получена при использовании сверточных нейронных сетей. В то же время метод обратного распространения ошибки [6, 9] приводит к получению высокого коэффициента обнаружения.

Выводы. Каждое из приведенных выше исследований включает в себя свои собственные эксперименты и основано на разных обучающих и тестовых выборках. Одни исследователи в качестве показателя производительности используют коэффициент обнаружения, другие – коэффициент ошибок и т.д. В некоторых работах не говорится об используемой базе данных. Каждое из этих исследований имеет свои достоинства и недостатки.

Таким образом, сложно определить, какая топология является лучшей для использования в системах обнаружения лиц, поэтому целесообразно на практике применять комбинацию нескольких топологий, например, сверточные нейронные сети и вейвлеты Габора.

Список литературы

1. Omaira N. A. AL-Allaf. Review of face detection systems based artificial neural networks algorithms // The International Journal of Multimedia & Its Applications (IJMA). 2014. № 1.
2. Henry Rowley, Baluja S., Kanade T. Neural Network-Based Face Detection, Computer Vision and Pattern Recognition // Neural Network-Based Face Detection. Pitts-burgh: Carnegie Mellon University, 1999.
3. Jeffrey S. Norris. Face Detection and Recognition in Office Environments. Dept. of Electrical Eng. and CS, Master of Eng. in Electrical Eng.: Massachusetts Institute of Technology, 1999.
4. Lin-Lin Huang. Face detection from cluttered images using a polynomial neural network // Neurocomputing. 2003. Vol. 51. P. 197–211.
5. Masakazu Matsugu. Subject independent facial expression recognition with robust face detection using a convolutional neural network // Neural Networks. 2003. Vol. 16. P. 555–559.
6. Zoran Bojkovic, Andreja Samcovic. Face Detection Approach In Neural Network Based Method For Video Surveillance // Neural Network Applications in Electrical Engineering. Serbia: University of Belgrade, 2006.
7. Sahoolizadeh, Sarikhanimoghadam, Dehghani. Face Detection using Gabor Wavelets and Neural Networks // World Academy of Science, Engineering and Technology. 2008. Vol. 45. P. 552–554.
8. Shilbayeh N., Al-Qudah G. Face Detection System Based on MLP Neural Network // Recent Advances in Neural Networks, Fuzzy Systems & Evolutionary Computing, 2008. P. 238–243.
9. Aamer Mohamed. Face Detection based Neural Networks using Robust Skin Color Segmentation // 5th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, IEEE. 2008.

COMPARISON OF DIFFERENT ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Vasyaeva Natalia Semenovna, Skulkin Maxim Felixovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

Various artificial neural networks are considered and compared for the construction of face detection systems.

Keywords: *artificial neural networks; face detections; Gabor wavelets.*

ГЕНЕРИРОВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ШИМ-СИГНАЛА ВЫСОКОЙ РАЗРЯДНОСТИ

Иванов Константин Владимирович, Васяева Наталья Семеновна

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

В данной статье описаны алгоритмы генерации ШИМ-сигнала, представлен анализ подходов к получению прямоугольного сигнала, превосходящего традиционный ШИМ-сигнал по частоте и дискретности задания коэффициента заполнения. Для представленных алгоритмов описаны результаты экспериментов, проведенных с реализациями алгоритмов на микроконтроллере Atmega16A. На основе полученных результатов даны рекомендации по практическому использованию данных алгоритмов.

Ключевые слова: микроконтроллер, таймер, модуляция, управление нагрузкой, электромагнитный клапан.

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) повсеместно используется для управления мощной нагрузкой, такой как электродвигатели постоянного тока, электромагнитные клапаны и осветительные приборы. Многие современные микроконтроллеры имеют возможность формирования ШИМ-сигнала. Главной причиной применения широтно-импульсной модуляции является необходимость в управлении силовыми устройствами при сохранении высокого КПД. Также при управлении электромагнитными клапанами применение ШИМ позволяет при плавном изменении управляющего воздействия избежать гистерезиса, вызванного трением в механизме клапана. Благодаря этому для повышения точности регулирования разумно использовать ШИМ в регуляторах расхода газа, структура которых показана на рисунке 1. Сплошными линиями на схеме показаны газовые линии, пунктирными – электрические соединения.

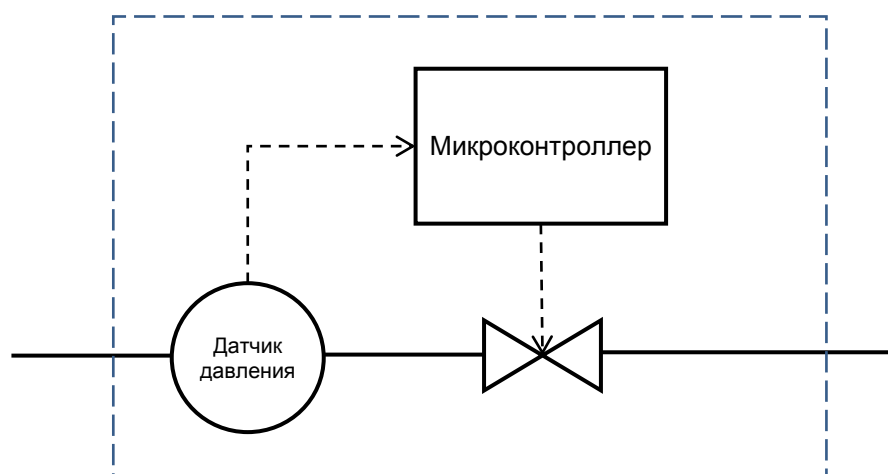


Рисунок 1 – Структура регулятора расхода газа

Высокое КПД обеспечивается за счет того, что при использовании широтно-импульсной модуляции транзистор, через который подключается нагрузка, работает в

ключевом режиме. Принцип действия ШИМ состоит в изменении ширины импульса сигнала, при этом частота сигнала и амплитуда остаются постоянными. Выходное напряжение при этом зависит от соотношения между шириной импульса и периодом, то есть от коэффициента заполнения. Дискретность установки коэффициента заполнения, в свою очередь, зависит от разрядности таймера.

В случаях, когда требуется изменение ШИМ-сигнала с высокой дискретностью, было бы логично использовать таймер большей разрядности. Однако при использовании традиционной широтно-импульсной модуляции приходится жертвовать частотой ШИМ-сигнала: увеличение разрядности таймера на N влечет за собой уменьшение частоты в 2^N раз. Для некоторых приложений это неприемлемо из-за низкочастотной составляющей в спектре ШИМ, которая может стать причиной нежелательных пульсаций выходного сигнала или возникновения акустического шума. Повышение же частоты ШИМ при заданной его разрядности часто ограничивается частотой процессора. Поэтому **целью данной статьи** является анализ альтернативных подходов к получению ШИМ-сигнала высокой разрядности.

Одним из подходов является использование для формирования сигнала алгоритма, основанного на принципах сигма-дельта модуляции [3]. В данном алгоритме на каждом шаге происходит суммирование значения (дельта) в аккумуляторе, работающего по модулю K . Отношение (дельта / K) определяет коэффициент заполнения выходного сигнала. Частота выходного сигнала в данном алгоритме зависит от коэффициента заполнения и не является постоянной, поэтому не приходится говорить о соответствии выходного сигнала ШИМ-сигналу. При переполнении аккумулятора на выходе устанавливается уровень логической единицы. Если же на очередном шаге переполнения не происходит, на выходе устанавливается уровень логического нуля.

Поскольку алгоритм требует выполнения действий через равные промежутки времени, для его реализации потребуется использование прерывания от таймера. Кроме того, нужно иметь в виду, что прерывание потребуется как для переднего, так и для заднего фронта сигнала. Таким образом, если требуется иметь выходной сигнал с максимальной частотой 7,8 кГц, то процедура обработки прерывания должна вызываться с частотой 15,6 кГц. При реализации данного алгоритма для 12-разрядного сигма-дельта модулятора на микроконтроллере ATmega16A с тактовой частотой 16 МГц, процедура обработки прерывания при управлении одним каналом требует около 2,5 мкс, и в случае с частотой вызова 15,6 кГц она занимает примерно 3 % времени работы микроконтроллера. При частоте вызова 124 кГц микроконтроллер занят обработкой прерываний примерно 25 % времени.

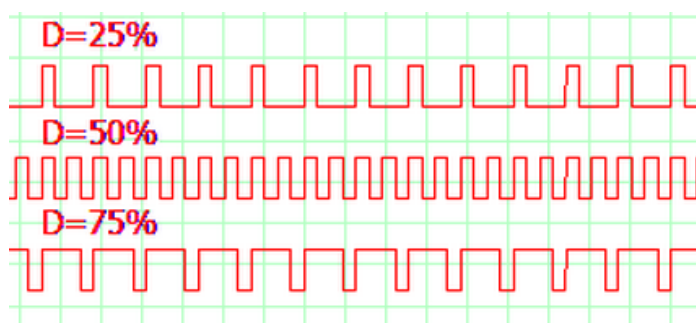


Рисунок 2 – Форма сигнала сигма-дельта модулятора при разных коэффициентах заполнения D

Как видно из рисунка 2, при использовании данного алгоритма частота сигнала изменяется в зависимости от коэффициента заполнения. Она приближается к макси-

мально возможной тогда, когда значение коэффициента близко к 0,5. При значениях коэффициента заполнения близких к нулю или единице частота значительно понижается. График зависимости частоты сигнала сигма-дельта модулятора с частотой вызова прерываний 15,6 кГц от коэффициента заполнения показан на рисунке 3. Например, минимальная частота сигнала для исследуемого модулятора составила 4 Гц. Данное свойство алгоритма несколько ограничивает его практическое применение.

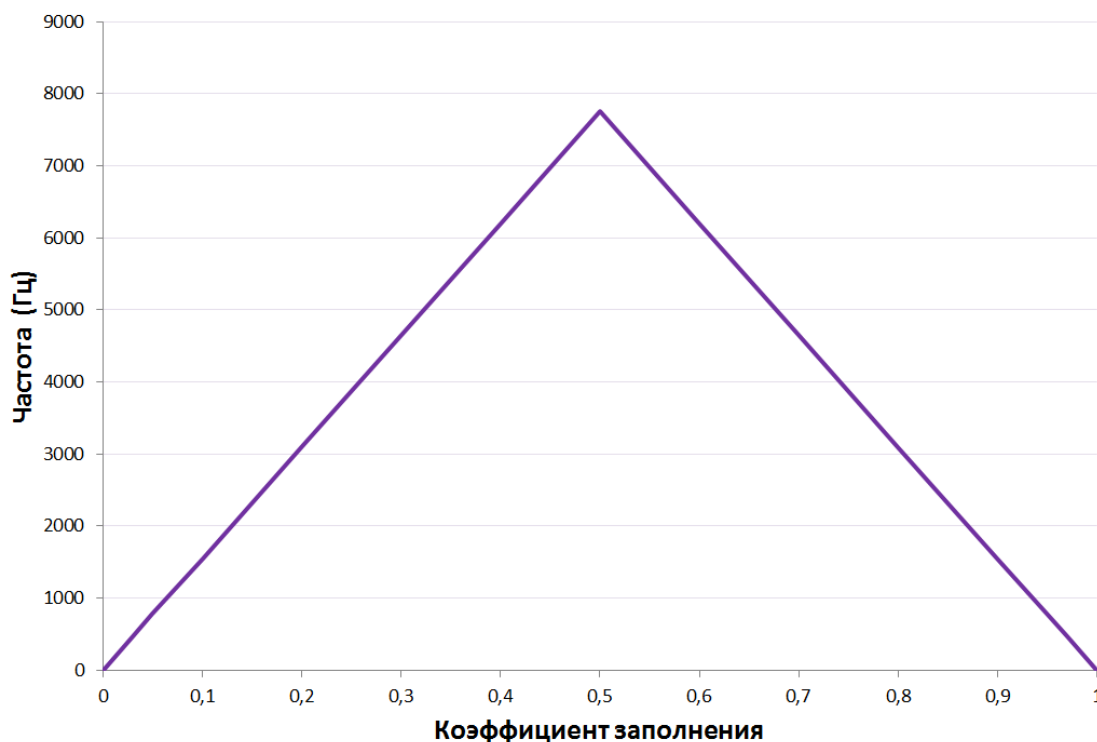


Рисунок 3 – Зависимость частоты сигнала сигма-дельта модулятора от коэффициента заполнения

Другим подходом является дизеринг (англ. PWM dithering) [2]. Как и при традиционной широтно-импульсной модуляции, частота сигнала при таком подходе остается постоянной. Идея в данном случае заключается в том, что бы изменять коэффициент заполнения ШИМ от периода к периоду для получения результирующего коэффициента заполнения с большей точностью, как показано на рисунке 4. В итоге за счет биения коэффициента заполнения повышается дискретность задания выходного напряжения. Это позволяет использовать таймер с разрядностью меньшей, чем требуемая в традиционном варианте.

Другими словами, чтобы реализовать таким образом N-разрядный ШИМ при генерации процессором максимально возможной разрядности ШИМ равной M (где $M < N$), нужно разбить N-разрядное число на две составляющие: старшие M бит и младшие P бит. Если изменять коэффициент заполнения M-разрядного ШИМ от периода к периоду, то результирующее значение постоянной составляющей за 2^P периодов будет соответствовать ШИМ разрядности $M + P = N$. Изменение коэффициента заполнения осуществляется путем изменения числа, записываемого в модуль ШИМ в каждом i-м периоде на величину $k_i(L)$, где $k_i(L) = 0$ или 1 – коэффициент, зависящий от P-разрядного числа L, определяет добавочный бит.

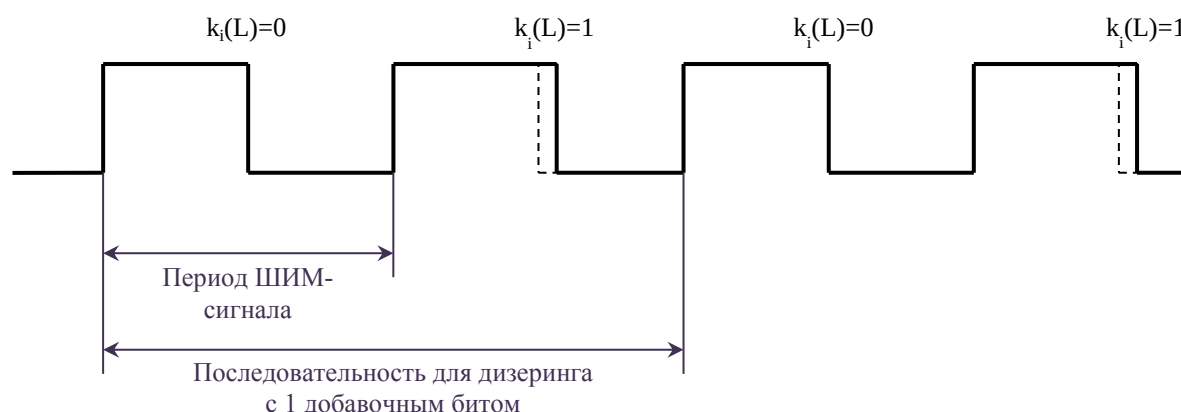


Рисунок 4 – Пример формы сигнала для дизеринга с 1 добавочным битом

Таким образом, необходимо сформировать 2^P добавочных бит для конкретного значения L . Расчет добавочных бит $k_i(L)$ для всех возможных значений P -разрядного числа L – трудоемкая задача. Если учесть, что коэффициенты $k_i(L)$ должны быть выбраны так, чтобы 0 и 1 по возможности были распределены равномерно по периодам ШИМ, то наиболее подходящий способ формирования коэффициента $k_i(L)$ – табличный. Так, для $P = 3$ один из вариантов значений коэффициентов $k_i(L)$ приведен в таблице. Распределение прибавляемых бит по периодам может быть произвольным, основное правило – равномерность распределения. Для хранения данных таблицы коэффициентов $k_i(L)$ потребуется $2^P \times 2^P = 2^{2P}$ байт, если для хранения каждого бита выделить 1 байт. При хранении таблицы в сжатом виде возрастает объем вычислений, выполняемых в процедуре обработки прерывания.

Пример таблицы последовательностей коэффициентов

P	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8
000	0	0	0	0	0	0	0	0
001	0	0	0	0	0	0	0	1
010	0	0	0	1	0	0	0	1
011	0	1	0	1	0	1	0	0
100	0	1	0	1	0	1	0	1
101	0	1	1	0	1	1	0	1
110	0	1	1	1	0	1	1	1
111	0	1	1	1	1	1	1	1

Для реализации данного алгоритма на микроконтроллере ATmega16A можно использовать таймер, работающий в режиме ШИМ, и прерывание по совпадению с регистром сравнения. В отличие от предыдущего алгоритма, в данном случае прерывание соответствует только одному фронту сигнала. Для реализованного дизеринга 12-разрядного ШИМ на 8-разрядном таймере получено, что процедура обработки прерывания при управлении одним каналом выполняется около 3 мкс. При ШИМ с частотой 7,8 кГц на обработку прерываний уходит около 1 % времени работы микроконтроллера. В случае с частотой ШИМ равной 62,5 кГц на обработку прерываний микроконтроллер тратит около 19 % времени.

К достоинствам дизеринга можно отнести постоянную частоту сигнала. Благодаря этому данный алгоритм отлично подходит для управления электромагнитными клапанами. Кроме того, дизеринг занимает меньше процессорного времени. Однако

возможности для масштабирования итоговой разрядности довольно ограничены из-за необходимости хранения таблицы. Некоторые производители, например NXP, выпускают микроконтроллеры архитектуры ARM Cortex с аппаратной поддержкой дизеринга. Их применение позволяет избежать использования прерываний и лишних затрат оперативной памяти или памяти программ. При этом реализация блока дизеринга в микроконтроллерах от NXP имеет фиксированную разрядность и позволяет увеличить дискретность задания коэффициента заполнения ШИМ не более чем на 4 бита [1].

Также следует иметь в виду, что каждый канал ШИМ с дизерингом требует отдельного таймера и прерываний от него. Если устройства в составе микроконтроллера имеют возможность использовать прямой доступ к памяти (DMA) и все таймеры работают на одной частоте, то достаточно использовать прерывание от одного таймера и обновлять регистры сравнения всех каналов одновременно. Микроконтроллеры с такими возможностями производят различные фирмы, одной из которых является STMicroelectronics.

В отличие от случая с дизерингом, количество каналов рассмотренного сигма-дельта-модулятора легко масштабируется при использовании всего лишь одного таймера. Естественно, при увеличении числа каналов растет время выполнения процедуры обработки прерывания. Поэтому алгоритм сигма-дельта-модуляции может стать хорошим решением для устройств, от которых не требуется выполнения большого объема вычислений и задача которых практически полностью заключается в генерации нескольких ШИМ-сигналов с высокой дискретностью. При этом нужно иметь в виду, что спектр применения сигма-дельта-модулятора ограничен. Из-за непостоянства частоты сигнала и возможности значительного падения частоты при определенных значениях коэффициента заполнения данный алгоритм нежелательно использовать в приложениях, в которых управляющий сигнал может стать причиной нежелательного акустического шума. Кроме того, при управлении осветительными приборами данный алгоритм следует использовать с осторожностью, избегая крайних значений коэффициента заполнения.

Список литературы

1. AN11580: Implementing PWM dithering on the LPC18xx SCTimer/PWM [Электронный ресурс]. URL: <https://www.lpcware.com/content/nxpfile/an11580-implementing-pwm-dithering-lpc18xx-sctimerpwm-0>.
2. AN4507: PWM resolution enhancement through dithering technique for STM32 advanced-configuration, general-purpose and lite timers [Электронный ресурс]. URL: http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/7e/17/df/9e/5d/04/4b/72/DM00119042.pdf/files/DM00119042.pdf/
3. Delta-Sigma versus PWM [Электронный ресурс]. URL: <https://hackaday.io/project/6356-delta-sigma-versus-pwm>
4. Ашанин В. Н., Чувыкин Б. В. Синтез $\Sigma\Delta$ -модулятора с многоуровневым ЦАП на основе широтно-импульсной модуляции сигнала // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Электроника измерительная и радиотехника. Технические науки. 2010. № 4 (16). С. 97-105.
5. Захаров Ю. В., Моисеев Н. Г. Выбор показателей при оценке качества изделий электронной техники // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2015. № 4 (28). С. 75-84.
6. Курашов Д. Применение ШИМ-контроллера ИС3844 в схеме резонансного преобразователя // Электронные компоненты. 2000. № 5. С. 50-51.

7. Мясников В. И. Разработка программного обеспечения встроенных систем // Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2005. С. 166-169.
8. Прокопенко В. С. Программирование микроконтроллеров ATMEЛ на языке С. Киев: МК-Пресс; СПб.: Корона-Век, 2006. 208 с.
9. Трамперт В. Измерение, управление и регулирование с помощью AVR-микроконтроллеров: пер. с нем. Киев: МК-Пресс, 2006. 208 с.

GENERATION OF HIGH RESOLUTION PWM-SIGNAL WITH HIGH FREQUENCY

Ivanov Konstantin Vladimirovich, Vasyaeva Natalia Semenovna

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The paper under discussion describes PWM-signal generation algorithms. The aim of this paper is to examine approach to generating PWM-signal that is superior to conventional PWM in terms of frequency and resolution. Results of experiments with the Atmega16A microcontroller unit are presented. Based on the results obtained, recommendations on the practical use of these algorithms are given.

Keywords: microcontroller, timer, modulation, load control, solenoid-operated valve.

УДК 004.25

АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ, РЕАЛИЗУЮЩИХ ПРОТОКОЛ НА ОСНОВЕ СПРАВОЧНИКА

Кошпаев Андрей Алексеевич, Васяева Елена Семеновна

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
koshpaev1991@yandex.ru

В данной статье описаны системы с точки зрения обеспечения когерентности данных. Для представленных систем приведены используемые протоколы, способы размещения и организации справочника, а также другие особенности реализации. Решения, представленные в данных системах, оказали существенное влияние на дальнейшее развитие протоколов когерентности на основе справочника. Опираясь на описанные данные, авторы выявили основные тенденции в разработке протоколов когерентности памяти на основе справочника.

Ключевые слова: когерентность памяти, протоколы на основе справочника, QuickPath Interconnect, Coherent HyperTransport, Coherent HyperTransport Assist.

Введение. Существует множество различных путей проектирования протокола когерентности. Даже для одинакового набора состояний и транзакций применяют множество различных осуществимых протоколов. Проектное решение протокола определяет события, которые возможны в каждом контроллере когерентности. В отличие от состояний и транзакций, нет способа представить список возможных событий, которые не зависят от протокола.

Разработки в области протоколов когерентности памяти в первую очередь выполняются производителями процессоров. На мировом рынке по производству процессоров лидируют две крупные компании: Intel и AMD. За последние 20 лет ими было создано несколько поколений процессоров. Но наука и технологии постоянно развиваются, возникают новые требования к эффективному хранению данных и к скорости

доступа к хранимой информации. Следовательно, появляется необходимость создавать более совершенные системы за счет улучшения архитектур, алгоритмов и компонентов памяти.

Основной целью данной статьи являются анализ и сравнение систем, реализующих протокол на основе справочника, выявление основных тенденций в разработке протоколов когерентности. Для этого применяется общенаучный метод теоретического уровня исследования – конкретно-исторический метод, предполагающий изучение возникновения, формирования, развития предмета исследования, в данном случае протоколов когерентности памяти.

Системы с использованием протоколов на основе справочника. С ростом производительности процессорного ядра росли требования к пропускной способности канала памяти, что привело к увеличению количества независимых шин при уменьшении числа процессоров, соединенных с одной шиной. В такой ситуации на физическом уровне не исключается возможность «гонок» – одновременной обработки подсистемой памяти нескольких запросов к одному ее блоку данных, при которой возникает принципиальная проблема обеспечения когерентности. Одновременно с усложнением алгоритмов работы подсистемы памяти возникли сложности физического характера – увеличение скорости передачи данных по одной шине и расширение интерфейсов микросхемы контроллера памяти. Все это привело к необходимости создания принципиально другой технологии построения многопроцессорных систем, а соответственно, и способов обеспечения когерентности памяти. Так появились протоколы на основе справочника.

Протоколы на основе справочника были первоначально разработаны, чтобы удовлетворить потребности крупномасштабируемых систем. Однако со временем протоколы на основе справочника стали привлекательными даже для мало- и среднимасштабируемых систем, потому что они упрощают использование связей «точка-точка» в соединительной сети. Это преимущество протоколов на основе справочника послужило мотивом разработки AMD's Coherent HyperTransport (Coherent HT) [3, 4]. Как ни странно, Coherent HT на самом деле использует широкополосную передачу, таким образом демонстрируя, что привлекательность протоколов на основе справочника в этом случае – использование соединений "точка-точка", а не масштабируемость.

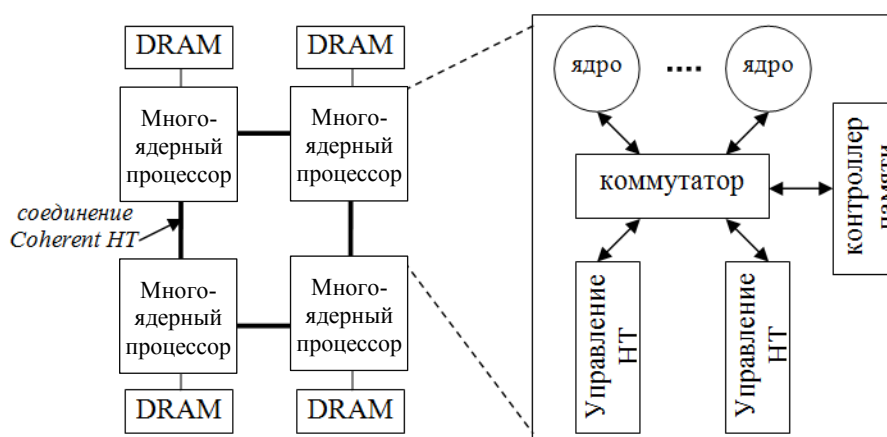


Рисунок 1 – Система Coherent HyperTransport с 4 узлами

AMD Opteron (Shanghai/Barcelona) и Intel Xeon (Nehalem-EP). В системе AMD Opteron 2300 (Shanghai/Barcelona) [5, 6] для обеспечения связи между процессорами

используют соединения «точка-точка» при помощи технологии Coherent HyperTransport (рис. 1), таким образом создавая архитектуру неоднородного доступа к памяти с обеспечением когерентности кэш-кэшей. Последний уровень кэша реализован как неисчерпывающий (запрос когерентности, который отсутствует в кэше справочника, приводит к доступу в DRAM-справочник). Система использует протокол MOESI, чтобы гарантировать когерентность кэш-памяти; дополнительное состояние Владелец (O) позволяет совместно использовать измененные данные без обратной записи в оперативную память.

Несмотря на достоинства (только соединения «точка-точка» и приемлемая масштабируемость), протокол Coherent HT имеет существенный недостаток – высокую задержку (три, в некоторых случаях четыре транзитных участка). Фактически Coherent HT использует еще больше пропускной способности, чем протоколы на основе наблюдения, потому что все перенаправленные запросы генерируют ответ. Недостатки Coherent HT побудили к созданию улучшенного проекта под названием HyperTransport Assist (HT Assist) [6].

AMD MagnyCours и AMD Opteron (Istanbul). HT Assist – тестовый фильтр для уменьшения трафика когерентности, который является ключевой инновацией в семействе процессоров AMD MagnyCours и AMD Opteron (Istanbul) [6]. Из особенностей HT Assist можно, во-первых, отметить, что записи справочника предоставляют информацию, достаточную только для определения, должен ли запрос когерентности быть перенаправлен ко всем ядрам, перенаправлен одному ядру, или выполнен памятью домашнего узла. То есть справочник не поддерживает достаточно состояний, чтобы отличить необходимость перенаправить запрос к двум ядрам от необходимости перенаправить запрос ко всем ядрам. Это проектное решение устранило затраты хранения на необходимость поддерживать точное число совладельцев каждого блока. Во-вторых, проект HT Assist старается избежать подверженности большому количеству ответов на запросы. AMD придерживался эмпирического правила, что должно быть, по крайней мере, вдвое больше записей справочника, чем кэшируемых блоков. Таким образом, протокол на основе справочника с использованием технологии HT Assist получает многие ключевые преимущества масштабируемости классических протоколов на основе справочника, при этом не используя внешнюю оперативную память для справочника, а также сохраняя низкие задержки косвенной адресации.

Intel XeonPhi. Одними из наиболее масштабируемых процессоров, основанных на архитектуре Intel x86, являются процессоры семейства Intel XeonPhi. Так, коммерческая система XeonPhi 5110P (рис. 2) имеет 60 упрощенных ядер на процессор и поддерживает 4 потока на ядро с технологией Hyper-Threading (таким образом, 240 потоков на кристалл). В каждом ядре имеется кэш последнего уровня, который поддерживает когерентность за счет распределенной системы справочников.

На рисунке 2 представлена базовая архитектура XeonPhi. Двухнаправленная шина имеет три независимых кольца в каждом направлении [6]: кольцо блока данных, кольцо адреса и кольцо подтверждения (управление потоком и сообщениями когерентности). Существует 64 справочника тегов, которые соединены с кольцом, а отображение адресов к справочникам тегов основано на хэш-функциях от адресов памяти, таким образом, обеспечивая равномерное распределение вокруг кольца.

В системе для обеспечения связи «точка-точка» между процессорами используется технология QuickPath Interconnect (QPI). QPI обеспечивает два различных режима протокола в зависимости от размера системы: «наблюдение хранилища» и «наблюдение

ние источника». В режиме «наблюдение хранилища» справочник служит точкой упорядочивания в протоколе и разрешает состязания сообщений. В то время как в режиме «наблюдение источника» запросы передаются широковещательно (подобие протокола на основе наблюдения), а справочник принимает все ответы на данный запрос и в зависимости от их результатов выполняет дальнейшие действия, как обычный протокол на основе справочника.

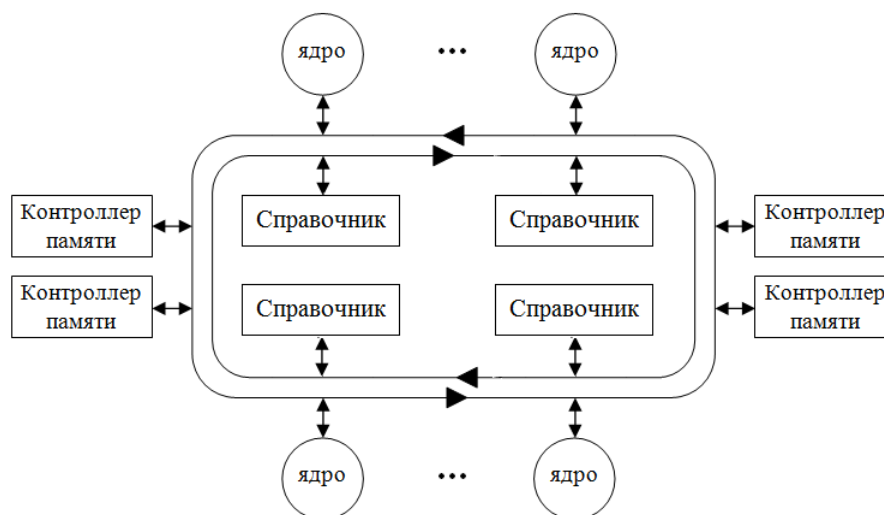


Рисунок 2 – Архитектура процессора Intel XeonPhi

Использование режима «наблюдение источника» подобно протоколу на основе наблюдения, но с существенным отличием – широковещательные запросы не путешествуют по полностью упорядоченной широковещательной сети. Поскольку сеть не полностью упорядочена, протокол должен иметь механизм, чтобы разрешать состязания. Этот механизм обеспечивается справочником, который в какой-то мере отличается от типичного упорядочивания состязаний в протоколах на основе справочника. Обычно, справочник упорядочивает два соревнующихся запроса на основе того, какой запрос придет первым. Но в режиме «наблюдение источника» вместо этого справочник упорядочивает запросы, основываясь на том, какие ответы на данный запрос пришли.

Режим «наблюдение источника» использует больше пропускной способности, чем «наблюдение хранилища», из-за широковещательной передачи, но задержка транзакции режима «наблюдение источника» в общем случае (без состязания) меньше. Режим «наблюдение источника» подобен Coherent HyperTransport, но с одним ключевым отличием. В Coherent HT запрос целенаправленно направляется к справочнику, и уже сам справочник широковещательно передает запрос, в то время как в режиме «наблюдение источника» сам инициатор запроса широковещательно передает запрос. Режим «наблюдение источника», таким образом, представляется более сложным в разрешении состязаний, поскольку не существует единой точки, в которой запросы могут быть упорядочены; Coherent HT использует справочник для этих целей.

Выводы. В таблице представлены системы, использующие в качестве протокола обеспечения когерентности данных протокол на основе справочника. Описаны состояния используемые для блоков, способы обеспечения связи, способы организации и

представления справочника, а также ключевые особенности. Решения, используемые в данных системах, оказали существенное влияние на дальнейшее развитие протоколов когерентности. Таким образом, опираясь на изученные системы, можно сделать следующие выводы.

Системы, использующие протоколы на основе справочника

Система	Протокол (состояния)	Связь между процессорами	Способ организации справочника	Способ представления структуры справочника	Особенности
AMD Opteron 2300	MOESI	Соединения «точка-точка» при помощи технологии HyperTransport	Справочник в кэш-памяти (неисчерпывающий)	Ограниченный справочник	Контроллеры памяти интегрируются на кристалл
Intel Xeon 5500	MESIF	Соединения «точка-точка» при помощи технологии QuickPath Interconnect	Справочник в кэш-памяти (исчерпывающий)	Полный справочник	Имеется специальный бит достоверности данных в ядре, который позволяет уменьшить внешний трафик запросов от ядра
AMD Opteron 6300	MOESI	Соединения «точка-точка» при помощи технологии HyperTransport Assist	Справочник в кэш-памяти (исчерпывающий)	Укрупненный справочник	- Тестовый фильтр в кэше. - Отслеживание всех строк, кэшируемых в системе, осуществляется с помощью так называемого домашнего узла
Intel XeonPhi	MESI	Физически – шина, логически – «точка-точка» при помощи технологии QuickPath Interconnect	Справочник в кэш-памяти (исчерпывающий)	Полный справочник	- Доп. состояние GOLS. - Распределенная система справочников. - Отображение адресов к справочникам основано на хэш-функциях от адресов памяти

Во-первых, общая шина в качестве коммутационной структуры является неэффективной и неперспективной. Компании перешли на использование коммутируемой матрицы и непосредственных соединений. Это позволяет масштабировать число компонентов системы и значительно повысить пропускные способности каналов передачи данных.

Из первого вывода вытекает второй – замена протоколов когерентности на основе наблюдения на протоколы когерентности на основе справочника, так как протоколы на основе справочника хорошо масштабируются, потому что они передают запросы целенаправленно. Кроме того, выбор протокола влияет на соединительную сеть: протокол на основе справочника характерен для сложных систем, где узлы объединены многоступенчатой иерархической сетью.

В-третьих, эксперты предсказывают появление в ближайшие десять лет процессоров с более чем тысячей ядер. Для обеспечения когерентности общей памяти при наличии сотен ядер в каждом из этих ядер обычно будут иметься кэши первого и второго уровней, поскольку требования к энергопитанию кэша возрастают в квадратичной зависимости от его размера. Следовательно, единственным путем к реализации крупного кэша является его физическое распределение по кристаллу, чтобы каждое ядро располагалось поблизости от некоторой части кэша. Вместо централизованных справочников будут использоваться распределенные.

В-четвертых, производители для избежания временных затрат, связанных с доступом к внешней памяти, стремятся расположить справочник полностью в кэше и кэшировать в нем все записи, которые имеются в кэшах более низких порядков.

В-пятых, производители в качестве базы для определения возможных состояний блоков используют классический протокол MSI, но с добавлением новых состояний, которые расширяют одно из базовых состояний. В результате некоторые переходы (транзитные участки) или вовсе исчезают для данного состояния, или имеют более короткий путь.

Список литературы

1. Sorin D. J., Hill M. D., Wood D. A. A primer on memory consistency and cache coherence // Morgan&Claypool Publishers, 2011. 198 p.
2. Орлов С. А., Цилькер Б. Я. Организация ЭВМ и систем: учебник для вузов. 3-е изд. СПб.: Питер, 2014. 668 с.
3. Suh T., Blough D. M., Lee H. S. Supporting cache coherence in heterogeneous multiprocessor systems // School of Electrical and Computer Engineering. USA, 2004. 13 p.
4. Сибираков М. А. Классификация систем хранения данных // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2015. № 4 (28). С. 53-66.
5. Garea S. R., Hoefler T. Modelling communications in cache coherent systems // Proceedings of the 22-nd international symposium on High-performance parallel and distributed computing. 2013. P. 97-108.
6. Conway P., Kalyanasundharam N., Donley G. Cache hierarchy and memory subsystem of the AMD Opteron processor // Advanced Micro Devices, IEEE Computer Society. 2010. P. 16-29.

ANALYSIS AND COMPARISON SYSTEMS REALIZING THE DIRECTORY COHERENCE PROTOCOLS

Koshpaev Andrey Alekseevich, Vasyaeva Elena Semenovna

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

In this article systems are described in the context of support data coherence. The protocols used, the directory locations and organizations, and also other features of implementation are described for the presented systems. The decisions provided in these systems had significant effect on further development the directory coherence protocols. Based on the described data the main trends in development the directory coherence protocols are revealed.

Keywords: *cache coherence, directory coherence protocols, QuickPath Interconnect, Coherent HyperTransport, Coherent HyperTransport Assist.*

ЭЛЕМЕНТЫ АЛГЕБРЫ ТРИПЛЕКСНЫХ МАТРИЦ

*Малашкевич Василий Борисович, Малашкевич Ирина Ардалионовна*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
MalashkevichVB@volgatech.net

Задачи обработки цветных изображений, преобразования трехмерных объектов, анализа пространственных контуров связаны с операциями над множествами гиперкомплексных трехкомпонентных чисел – триплексов, упорядоченными в векторы и матрицы. В работе рассматривается математический аппарат алгебры триплексных матриц. Показано, что представление таких матриц в идемпотентном базисе позволяет дать простое определение основным операциям алгебры триплексных матриц и разработать программную реализацию этих операций на основе апробированных алгоритмов алгебры вещественных и комплексных матриц.

Ключевые слова: гиперкомплексные числа, матрица, гиперкомплексная алгебра, делитель нуля, идемпотентный базис, триплекс.

Матричное исчисление широко применяется в различных областях математики, механики, теоретической физики, теории вероятностей, а также в теории обработки дискретных сигналов. Применение математического аппарата матриц [1] позволяет в компактной форме представить и доказать множество важных для практики результатов.

Основные результаты теории матриц получены для алгебры вещественных чисел и обобщены для поля комплексных чисел. Однако в последние годы в ряде работ сделаны попытки применения алгебр различных гиперкомплексных чисел для решения задач теоретической физики и обработки сигналов. В частности, в работах [2-6] методы алгебры бикомплексных чисел использованы для анализа электромагнитных волн и фильтрации сигналов. Интерес исследователей к таким математическим объектам как гиперкомплексные числа связан с тем, что они представляют элементы многомерных евклидовых пространств с помощью скалярных величин – гиперкомплексных чисел.

Гиперкомплексные числа являются обобщением комплексных чисел, которые стали удобным инструментом при решении задач синтеза и анализа алгоритмов обработки сигналов. Поэтому методы гиперкомплексных алгебр применимы также к задачам обработки многокомпонентных сигналов. Примером таких задач является обработка цветных изображений, потоков видео или квадратур ортогонально поляризованных компонент плоской электромагнитной волны.

Ряд задач обработки сигналов связан с операциями над трехкомпонентными объектами. К таким задачам относятся обработка цветных изображений, работа с трехмерными объектами, анализ пространственных контуров. Каждый отсчет трехкомпонентного сигнала можно представить гиперкомплексным числом – триплексом вида

$$u = x + h \cdot y + k \cdot z \in T, x, y, z \in R, \quad (1)$$

где R – поле вещественных чисел; T – кольцо триплексных чисел; x, y, z – компоненты гиперкомплексного числа u ; h, k – комплексные единицы:

$$h^2 = k, k^2 = h, k \cdot h = h \cdot k = 1. \quad (2)$$

В работе [7] показано, что алгебра триплексов является замкнутой, коммутативной и дистрибутивной по умножению и сложению. Однако алгебра триплексов определяется как алгебра без деления. Это связано с тем, что в алгебре триплексов

кроме деления на ноль запрещено также деление на числа специального вида – делители нуля:

$$\begin{aligned}u_{01} &= x + h \cdot y + k \cdot z, x + y + z = 0; \\u_{02} &= x + h \cdot y + k \cdot z, x = y = z.\end{aligned}$$

Триплекс u в формуле (1) может быть также представлен в идемпотентном базисе [8]:

$$u = (x + y \cdot h + z \cdot k) = b1 \cdot e1 + b2 \cdot e2 + b3 \cdot e3,$$

где

$$\begin{aligned}e1 &= (1 + h + k)/3; \\e2 &= [2 + (-1 + \sqrt{3} \cdot i)h + (-1 - \sqrt{3} \cdot i)k]/6; i = \sqrt{-1}; \\e3 &= e2^*.\end{aligned}\tag{3}$$

Орты идемпотентного базиса имеют следующие свойства:

$$\begin{aligned}e1 \cdot e1 &= e1, \quad e2 \cdot e2 = e2, \quad e3 \cdot e3 = e3, \\e1 \cdot e2 &= 0, \quad e1 \cdot e3 = 0, \quad e2 \cdot e3 = 0, \\e1 + e2 + e3 &= 1.\end{aligned}\tag{4}$$

Идемпотентные компоненты триплекса могут быть вычислены по формулам

$$\begin{aligned}b1 &= x + y + z; \\b2 &= x + c^* \cdot y + c \cdot z; \\b3 &= b2^*,\end{aligned}$$

где $c = \exp(2\pi \cdot i/3)$ – комплексная константа; * – символ комплексного сопряжения.

Обратный переход к исходному представлению триплекса можно выполнить по формулам

$$\begin{aligned}x &= (b1 + b2 + b3)/3; \\y &= (b1 + c \cdot b2 + c^* \cdot b3)/3; \\z &= (b1 + c^* \cdot b2 + c \cdot b3)/3.\end{aligned}$$

Отметим, что представление триплекса в идемпотентном базисе требует одного вещественного и пары комплексно сопряженных чисел. Поэтому оно не требует дополнительной памяти и, как показано в [8], обеспечивает существенно более высокую вычислительную эффективность в сравнении с операциями над триплексами в форме (1).

Задачей данной работы является исследование операций над матрицами и векторами, элементами которых являются триплексные числа.

Пусть $U = [u_{ij}] \in T^{m \cdot n}$ – прямоугольная матрица размером $m \cdot n$ с триплексными элементами. Операции суммирования и вычитания таких триплексных матриц одинаковых размеров имеют тривиальное определение:

$$D = A \pm B, \quad d_{ij} = a_{ij} \pm b_{ij}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}, \quad A, B \in T^{m \cdot n},$$

где $D, A, B \in T^{m \cdot n}$ – триплексные матрицы.

Определение других операций над триплексными матрицами более удобно выполнить в идемпотентном базисе:

$$U = U1 \cdot e1 + U2 \cdot e2 + U3 \cdot e3, U1 \in R^{m \cdot n}, \quad U2 = U3^* \in C^{m \cdot n},\tag{5}$$

где орты $e1, e2, e3$ определены формулой (3); $U1, U2, U3$ – матрицы размером $m \cdot n$; C – поле комплексных чисел.

Представление триплексной матрицы в виде линейной комбинации вещественной и комплексной матриц позволяет дать простые определения основным операциям матричной алгебры над триплексными матрицами.

Операция умножения триплексных матриц может быть выполнена по формуле

$$\begin{aligned}D &= A \cdot B = A1 \cdot B1 \cdot e1 + A2 \cdot B2 \cdot e2 + A3 \cdot B3 \cdot e3, \\A1 \in R^{m \cdot n}, B1 \in R^{n \cdot m}, \quad A2 &= A3^* \in C^{m \cdot n}, \quad B2 = B3^* \in C^{n \cdot m}.\end{aligned}\tag{6}$$

Доказательство утверждения (6) следует из формулы определения элемента d_{ij} матрицы D и свойств (4)

$$\begin{aligned} d_{ij} &= \sum_{k=1}^n a_{ik} \cdot b_{kj} = \\ &= \sum_{k=1}^n (b1_{a,ik} \cdot e1 + b2_{a,ik} \cdot e2 + b3_{a,ik} \cdot e3) \cdot (b1_{b,kj} \cdot e1 + b2_{b,kj} \cdot e2 + b3_{b,kj} \cdot e3) = \\ &= \sum_{k=1}^n (b1_{a,ik} \cdot b1_{b,kj}) \cdot e1 + \sum_{k=1}^n (b2_{a,ik} \cdot b2_{b,kj}) \cdot e2 + \sum_{k=1}^n (b3_{a,ik} \cdot b3_{b,kj}) \cdot e3. \end{aligned}$$

Определитель квадратной триплексной матрицы можно вычислить по формуле

$$\det(U) = \det(U1) \cdot e1 + \det(U2) \cdot e2 + \det(U3) \cdot e3. \quad (7)$$

Доказательство формулы (7) непосредственно следует из общего выражения для определителя матрицы [1] и свойств (4)

$$\begin{aligned} \det(U) &= \sum_{\alpha 1, \dots, \alpha n} (-1)^\sigma u_{1, \alpha 1} u_{2, \alpha 2} \dots u_{n, \alpha n} = \\ &= \sum_{\alpha 1, \dots, \alpha n} (-1)^\sigma (b1_{1, \alpha 1} e1 + b2_{1, \alpha 1} e2 + b3_{1, \alpha 1} e3) \dots (b1_{n, \alpha n} e1 + b2_{n, \alpha n} e2 + b3_{n, \alpha n} e3) = \\ &= \left[\sum_{\alpha 1, \alpha 2, \dots, \alpha n} (-1)^\sigma b1_{1, \alpha 1} \dots b1_{n, \alpha n} \right] e1 + \\ &\quad + \left[\sum_{\alpha 1, \alpha 2, \dots, \alpha n} (-1)^\sigma b2_{1, \alpha 1} \dots b2_{n, \alpha n} \right] e2 + \\ &\quad + \left[\sum_{\alpha 1, \alpha 2, \dots, \alpha n} (-1)^\sigma b3_{1, \alpha 1} \dots b3_{n, \alpha n} \right] e3, \end{aligned}$$

где σ – число инверсий в перестановке индексов $\alpha 1, \alpha 2, \dots, \alpha n$.

Из формулы (7) следует, что детерминант триплексной матрицы в общем случае является триплексным числом.

С учетом свойств (4) или с помощью прямых вычислений несложно также проверить, что выполняется равенство

$$\det(A \cdot B) = \det(A) \cdot \det(B), \quad A, B \in T^{n \cdot n}.$$

Квадратная триплексная матрица U имеет обратную матрицу U^{-1} , такую, что $U \cdot U^{-1} = U^{-1} \cdot U = I$,

где I – единичная матрица тогда и только тогда, когда матрицы ее идемпотентных компонентов $U1, U2$ – невырожденные матрицы.

Действительно, из определения триплексного матричного произведения (6) и свойств (4) следует, что

$$U \cdot U^{-1} = U1 \cdot U1^{-1} \cdot e1 + U2 \cdot U2^{-1} \cdot e2 + U3 \cdot U3^{-1} \cdot e3 = I \cdot (e1 + e2 + e3) = I.$$

Это равенство позволяет найти матрицу U^{-1} , обратную к триплексной матрице U :

$$U^{-1} = U1^{-1} \cdot e1 + U2^{-1} \cdot e2 + U3^{-1} \cdot e3. \quad (8)$$

Собственные значения λ и собственные векторы v триплексной матрицы можно найти с помощью их определения для обычных матриц $A \cdot v = \lambda \cdot v$ и идемпотентного представления (5):

$$\begin{aligned} \lambda &= \lambda 1 \cdot e1 + \lambda 2 \cdot e2 + \lambda 3 \cdot e3; \\ v &= v1 \cdot e1 + v2 \cdot e2 + v3 \cdot e3, \end{aligned} \quad (9)$$

где числа $\lambda 1, \lambda 2, \lambda 3$ и векторы $v1, v2, v3$ – решения матричных уравнений:

$$\begin{aligned}A1 \cdot v1 &= \lambda1 \cdot v1, \\A2 \cdot v2 &= \lambda2 \cdot v2, \\A3 \cdot v3 &= \lambda3 \cdot v3.\end{aligned}$$

Из определения (9) следует, что собственные значения триплексной матрицы в общем случае являются триплексными числами.

Используя технику оперирования с идемпотентными матричными компонентами, можно определить и другие операции над триплексными матрицами. Например, несложно определить сингулярное разложение триплексной матрицы, псевдообратную триплексную матрицу или функции от триплексных матричных аргументов.

Из формул (6)-(9) следует, что операции с триплексной матрицей требуют выполнения аналогичных операций над одной матрицей с вещественными элементами и над одной матрицей с комплексными элементами. Таким образом, программная реализация класса триплексных матриц может быть выполнена на основе известных оптимизированных и отлаженных методов и алгоритмов оперирования с вещественными и комплексными матрицами. Такой подход был использован при разработке класса триплексных матриц на языке C#. Проведенные численные эксперименты показали справедливость полученных матричных соотношений и возможность применения разработанного класса в алгоритмах обработки триплексных сигналов.

Список литературы

1. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. Изд. 2. М.: Наука, 1966.
2. Елисеев В. И. Числовое поле. Введение в методы теории функций пространственного комплексного переменного. М.: Москва, 2007. 318 с.
3. Точечные поля и групповые объекты / Я. А. Фурман, А. А. Роженцов, Р. Г. Хафизов, А. А. Хафизов, А. А. Кревецкий, Р. В. Ерусланов; под ред. Я. А. Фурмана. М: Физматлит, 2014. 440 с.
4. Hitzer E. Algebraic foundations of split hypercomplex nonlinear adaptive filtering, Math. Methods in the Applied Sciences. Wiley Online Library, 2012. URL: <http://arxiv.org/abs/1306.1676>
5. Banerjee A., Datta S K. Fourier transform for functions of bicomplex variables. arXiv.org math arXiv: 1404.4236, 2014. URL: <http://arxiv.org/abs/1404.4236>
6. Toyoshima, H. Computationally efficient implementation of hypercomplex digital filters // *IEICE Trans. Fundamentals*. August. 2002. E85-A. 8. P. 1870-1876.
7. Olariu S. Complex Numbers in Tree Dimensions / Institute of Physics and Nuclear Engineering, Bucharest, Romania, 2000. URL: <http://arxiv.org/abs/math/0008120v1>
8. Малашкевич В. Б., Малашкевич И. А. Элементы алгебры триплексов в идемпотентном базисе // *Кибернетика и программирование*. 2016. № 1. С. 1-228. DOI: 10.7256/2306-4196.2016.1.17583. URL: http://e-notabene.ru/kp/article_17583.html

ELEMENTS OF THE ALGEBRA OF TRIPLEX MATRICES

Malashkevich Vasily Borisovich, Malashkevich Irina Ardalionovna

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The tasks of processing color images, transforming three-dimensional objects, analyzing spatial contours are related to operations on sets of hypercomplex three-component numbers - triplexes, ordered into vectors and matrices. In this paper, the mathematical apparatus of the algebra of triplex matrices is considered. It is shown that the representation of such matrices in an idempotent basis makes it possible to give a simple definition of the basic operations of the algebra of triplex matrices and to develop a software implementation of these operations on the basis of approved algorithms for the algebra of real and complex matrices.

Keywords: hypercomplex numbers, matrix, hypercomplex algebra, zero divisor, idempotent basis, triplex.

СОВМЕСТНОЕ ГАУССОВСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРИПЛЕКСНЫХ СИГНАЛОВ

Малашкевич Василий Борисович, Малашкевич Ирина Ардалионовна

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

E-mail: MalashkevichVB@volgatech.net

Цветные изображения, координаты трехмерных объектов, пространственные контуры можно рассматривать как случайные дискретные сигналы, представленные отсчетами в форме гиперкомплексных трехкомпонентных чисел – триплексов. В силу случайности таких сигналов для решения задач синтеза оптимальных алгоритмов обработки необходимо статистическое описание дискретного триплексного сигнала. Работа посвящена выводу нормальной (гауссовской) плотности вероятностей, описывающей закон распределения триплексного случайного вектора. Найдены матрицы преобразования вектора вещественных компонентов гиперкомплексного сигнала в вектор его идемпотентных составляющих, а также в вектор триплексов, с помощью которых получены гауссовские плотности вероятностей для вектора идемпотентных составляющих и вектора триплексного дискретного сигнала. Показано, что отсчеты идемпотентных составляющих триплексного сигнала в общем случае являются коррелированными.

Ключевые слова: гиперкомплексные числа, матрица, плотность вероятностей, идемпотентный базис, триплекс, триплексный сигнал.

Существует ряд задач, связанных с обработкой случайных последовательностей трехкомпонентных чисел – триплексов. Такие последовательности возникают в задачах обработки цветных изображений, точек трехмерного евклидова пространства. Их можно рассматривать как векторы гиперкомплексных чисел или триплексные дискретные сигналы. Для синтеза оптимальных алгоритмов обработки триплексных векторов и анализа их эффективности необходимо иметь выражение для функции плотности вероятностей триплексного вектора, в частности нормальной (гауссовской) функции плотности вероятностей.

Нормально распределенными триплексами будем полагать триплексы с нормально распределенными компонентами. Поэтому задачи, связанные с обработкой триплексных сигналов, всегда возможно решать с помощью совместных распределений вещественных компонент триплексов. Тем не менее такой подход часто оказывается более громоздким в сравнении с применением распределения, описывающим непосредственно гиперкомплексный сигнал.

Основной **задачей работы** является вывод выражения для нормального распределения гиперкомплексного триплексного вектора в предположении, что вещественные компоненты триплекса имеют совместное нормальное распределение.

Система коммутативных трехкомпонентных гиперкомплексных чисел определена в работе [1] в форме

$$u = x + h \cdot y + k \cdot z, x, y, z \in R, \quad (1)$$

где R – поле вещественных чисел; x, y, z – компоненты гиперкомплексного числа u ; h, k – комплексные единицы.

Правила умножения базисных комплексных единиц (ортов) определяются соотношениями

$$h^2 = k, k^2 = h, k \cdot h = h \cdot k = 1. \quad (2)$$

В работе [2] показано, что триплекс u в форме (1) может быть также представлен в идемпотентном базисе:

$$u = (x + y \cdot h + z \cdot k) = b1 \cdot e1 + b2 \cdot e2 + b3 \cdot e3,$$

где

$$\begin{aligned} e1 &= (1 + h + k)/3; \\ e2 &= [2 + (-1 + \sqrt{3} \cdot i)h + (-1 - \sqrt{3} \cdot i)k]/6; \\ e3 &= e2^*; \end{aligned}$$

орты идемпотентного базиса, $i = \sqrt{-1}$

$$\begin{aligned} b1 &= x + y + z; \\ b2 &= x + c^* \cdot y + c \cdot z; \\ b3 &= x + c \cdot y + c^* \cdot z, \end{aligned} \quad (3)$$

где $c = (-1 + \sqrt{3} \cdot i)/2 = \exp(2\pi \cdot i/3)$ – комплексная константа; * – символ комплексного сопряжения.

Для триплексных чисел определены две поличисловые операции [3] – операции комплексного сопряжения:

$$\begin{aligned} u^{*1} &= b3 \cdot e1 + b1 \cdot e2 + b2 \cdot e3; \\ u^{*2} &= b2 \cdot e1 + b3 \cdot e2 + b1 \cdot e3. \end{aligned}$$

Причем

$$u \cdot u^{*1} \cdot u^{*2} = b1 \cdot b2 \cdot b3 = \rho^3,$$

где ρ – квазинорма [3] или амплитуда [1] триплекса u .

Предположим, что вещественные компоненты триплекса x, y, z имеют совместное нормальное распределение вероятностей. Получим многомерную нормальную (гауссовскую) плотность вероятностей для дискретного триплексного сигнала, представленного последовательностью своих отсчетов

$$U = |u_1, u_2, \dots, u_n|^T.$$

Пусть X, Y, Z – нормально распределенные вещественные векторы с нулевым средним

$$E\{X\} = E\{Y\} = E\{Z\} = 0$$

и вещественными симметричными матрицами ковариаций размером $n \times n$:

$$\begin{aligned} R_{xx} &= E\{X \cdot X^T\}, \quad R_{yy} = E\{Y \cdot Y^T\}, \quad R_{zz} = E\{Z \cdot Z^T\}, \\ R_{xy} &= E\{X \cdot Y^T\}, \quad R_{yz} = E\{Y \cdot Z^T\}, \quad R_{xz} = E\{X \cdot Z^T\}. \end{aligned}$$

Введем вещественный вектор

$$V = [X^T Y^T Z^T]^T$$

с нормальной функцией плотности вероятностей [4]

$$p(V) = (2\pi)^{-n} \det^{-\frac{1}{2}}(R) \exp\left(-\frac{1}{2} V^T R^{-1} V\right), \quad (4)$$

где R – вещественная симметричная матрица ковариаций с блочными элементами:

$$R = E\{VV^T\} = \begin{bmatrix} R_{xx} & R_{xy} & R_{xz} \\ R_{xy} & R_{yy} & R_{yz} \\ R_{xz} & R_{yz} & R_{zz} \end{bmatrix};$$

T – символ транспонирования.

Поиск выражения для нормальной плотности триплексного сигнала начнем с определения матрицы B , связывающей вещественные компоненты X, Y, Z с вектором идемпотентных составляющих триплексного сигнала

$$W = |b1_1 \dots b1_N \ b2_1 \dots b2_N \ b3_1 \dots b3_N|^T.$$

Можно показать, что

$$B = \begin{vmatrix} I & I & I \\ I & c^* \cdot I & c \cdot I \\ I & c \cdot I & c^* \cdot I \end{vmatrix},$$

$$\det(B) = (3\sqrt{3}i)^N,$$

$$B^{-1} = \frac{1}{3} \cdot \begin{vmatrix} I & I & I \\ I & c \cdot I & c^* \cdot I \\ I & c^* \cdot I & c \cdot I \end{vmatrix} = \frac{1}{3} B^H,$$

где H – символ комплексного сопряжения и транспонирования.

Тогда

$$W = B \cdot V; \quad V = B^{-1}W = \frac{1}{3} \cdot B^H \cdot W = \frac{1}{3} B^T \cdot W^*. \quad (5)$$

Последнее равенство в выражениях (5) справедливо, так как V – вещественный вектор.

Рассмотрим квадратичную форму в формуле (4). Так как $V^T = (\frac{1}{3} B^T \cdot W^*)^T = W^H \cdot (\frac{1}{3} B)$ и $(\frac{1}{3} B) = B^{-H}$, $(\frac{1}{3} B^H) = B^{-1}$, то

$$V^T R^{-1} V = W^H \left(\frac{1}{3} B \right) \cdot R^{-1} \cdot \left(\frac{1}{3} B^H \right) W = W^H (B \cdot R \cdot B^H)^{-1} W = W^H D^{-1} W.$$

Рассмотрим детерминант матрицы R . Так как $R = B^{-1} D B^{-H}$, то

$$\det(R) = \det(B^{-1} D B^{-H}) = \left(\frac{1}{3} \right)^{6N} \cdot |\det(B)|^2 \cdot \det(D) = \frac{1}{3^{3N}} \det(D).$$

Отметим, что матрица D с комплексными элементами является эрмитовой: $D = D^H$.

Полученные результаты позволяют записать плотность распределения идемпотентных компонентов в виде

$$p(W) = \left(\frac{2\pi}{3} \right)^{-3N/2} \cdot \det^{-\frac{1}{2}}(D) \cdot \exp \left(-\frac{W^H D^{-1} W}{2} \right). \quad (6)$$

В выражении (6) D – ковариационная матрица вектора W . Анализируя ее связь с ковариационной матрицей R вектора V :

$$D = B \cdot R \cdot B^H, \quad (7)$$

можно показать, что D становится блочно-диагональной только при условии $R_{xy} = R_{yz} = R_{xz} = 0$. Поэтому векторы идемпотентных составляющих в общем случае взаимно коррелированы.

Используя L -факторизацию матрицы D , несложно также получить связь блоков матрицы D^{-1} с блоками ковариационной матрицы R .

Для перехода к плотности гиперкомплексного триплексного вектора теперь достаточно найти матрицу J , обеспечивающую преобразование идемпотентных компонентов в гиперкомплексные триплексы:

$$T = J \cdot W.$$

Матрица J имеет вид

$$J = \begin{vmatrix} e1 \cdot I & e2 \cdot I & e3 \cdot I \\ e3 \cdot I & e1 \cdot I & e2 \cdot I \\ e2 \cdot I & e3 \cdot I & e1 \cdot I \end{vmatrix} = J^H$$

и следующие свойства

$$\det(J) = 1;$$

$$J^{-1} = \begin{vmatrix} e1 \cdot I & e3 \cdot I & e2 \cdot I \\ e2 \cdot I & e1 \cdot I & e3 \cdot I \\ e3 \cdot I & e2 \cdot I & e1 \cdot I \end{vmatrix} = J^T = J^*.$$

Тогда

$W^H D^{-1} W = W^H J J^{-1} (B \cdot R \cdot B^H)^{-1} J^{-1} J W = W^H J^H (M \cdot R \cdot M^H)^{-1} J \cdot W = T^H Q^{-1} T$,
где матрицы M и Q имеют вид

$$M = J \cdot B = \begin{vmatrix} I & h \cdot I & k \cdot I \\ I & h \cdot c^* I & k \cdot c I \\ I & h \cdot c I & k \cdot c^* I \end{vmatrix}; \quad Q = M \cdot R \cdot M^H.$$

Теперь можно записать искомую функцию плотности в виде

$$p(U) = \left(\frac{2\pi}{3}\right)^{-3N/2} \cdot \det^{-\frac{1}{2}}(Q) \cdot \exp\left(-\frac{T^H Q^{-1} T}{2}\right), \quad (8)$$

где вектор

$$T = \begin{vmatrix} U \\ U^\dagger \\ U^\ddagger \end{vmatrix}.$$

Таким образом, получено выражение (8) для нормальной функции плотности вероятностей гиперкомплексного триплексного вектора, имеющего совместное нормальное распределение вещественных компонентов. Важное практическое значение имеет и плотность (6), так как идемпотентное представление триплексов обеспечивает эффективную реализацию арифметических операций с триплексными числами.

Список литературы

1. Olariu S. Complex Numbers in Tree Dimensions. Institute of Physics and Nuclear Engineering, Bucharest, Romania, 2000. URL: <http://arxiv.org/abs/math/0008120v>
2. Малашкевич В. Б., Малашкевич И. А. Элементы алгебры триплексов в идемпотентном базисе // Кибернетика и программирование. 2016. № 1. С. 1-228. DOI: 10.7256/2306-4196.2016.1.17583. URL: http://e-notabene.ru/kp/article_17583.html
3. Кокарев С. С. Лекции по финслеровой геометрии и гиперкомплексным числам // Сборник научных трудов РНОЦ "Логос". Вып. 5. Ярославль, 2010. С. 19-121. URL: <http://www.logos-distant.ru/page/node2/polynumbers.pdf>
4. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. 10-е изд. М.: Академия, 2005. 576 с.

THE JOINT GAUSSIAN DISTRIBUTION OF TRIPLEX SIGNALS

Malashkevich Vasily Borisovich, Malashkevich Irina Ardalionovna

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

Color images, coordinates of three-dimensional objects, spatial contours can be considered as random discrete signals represented by samples in the form of hypercomplex triple-component numbers – triplexes. Due to the randomness of such signals, a statistical description of the discrete triplex signal is necessary for solving the synthesis problems of optimal processing algorithms. The paper is devoted to the derivation of a normal (Gaussian) probability density describing the distribution law of a triplex random vector. The matrices of the transformation of the vector of the real components of the hypercomplex signal into the vector of its idempotent components are found, as well as in the vector of triplexes, by means of which Gaussian probability densities for the idempotent component vector and the triplex discrete signal vector are obtained. It is shown that the samples of the idempotent constituents of the triplex signal are generally correlated.

Keywords: hypercomplex numbers, matrix, probability density, idempotent basis, triplex, triplex signal.

УДК 004.42

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ATMEGA

Русанова Нина Владимировна, Морохин Дмитрий Витальевич

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

Рассматривается разработка устройства для определения плотности древесины через мощность, прикладываемую к буровому сверлу, в процессе просверливания тестируемого образца. Основными преимуществами устройства являются простота измерений, низкая стоимость, высокая скорость и точность. Предполагается использование устройства в лесозаготовительных и обрабатывающих предприятиях, а также для проведения исследовательских работ.

Ключевые слова: микроконтроллерное устройство, определение плотности, контроллер, плотность древесины, сверло.

Введение. Сегодня существует множество способов определения плотности древесины [2, 3]. Наиболее перспективными являются неразрушающие способы определения плотности – без нарушения целостности и функционирования исследуемого объекта, что наиболее актуально для растущих деревьев и деревянных строительных конструкций. Примерами таких способов являются импульсный томограф «Арботом», в основе работы которого лежит измерение скорости распространения звука в древесине, и бороскоп, работа которого основана на использовании волоконной оптики [3]. Однако при всех своих достоинствах новые методы определения плотности древесины характеризуются чувствительностью устройства к внешним шумам, низкой точностью, высокой стоимостью оборудования и исследований, длительностью измерений. Следовательно, необходимо разработать такой метод и устройство, позволяющие определять изменчивость плотности в древесине, сочетающие в себе простоту измерений, низкую стоимость, высокую скорость и точность. Одним из таких способов является метод сверления.

Цель работы – исследование, разработка и тестирование устройства для измерения плотности древесины. В качестве основы системы служит метод измерения усилия сопротивления просверливанию древесины тонким буровым сверлом.

Для достижения поставленной цели требуется последовательно решить следующие задачи:

- 1) проанализировать существующие методы измерения плотности древесины;
- 2) исследовать методы измерения плотности древесины;
- 3) обосновать применение метода измерения усилия сопротивления просверливанию древесины тонким буровым сверлом для определения плотности древесины;
- 4) разработать методику для определения плотности древесины просверливанием;
- 5) разработать контроллер устройства измерения плотности древесины, изготовление действующего макета устройства;
- 6) создать программное обеспечение контроллера устройства измерения плотности древесины;
- 7) разработать программное обеспечение для персонального компьютера по обработке данных, поступающих от контроллера;
- 8) создать модель и провести испытания устройства.

Проектирование системы. На основании технического задания, требований пользователя и функциональной спецификации разработана модульная структура микроконтроллерного устройства измерителя плотности древесины, в которую входят (рис. 1):

- блок обработки данных, состоящий из микроконтроллера, который принимает данные и обрабатывает с последующей их передачей;
- DataFlash – внутренняя энергонезависимая память, в которой сохраняются данные измерений и при необходимости могут быть переданы в компьютер;
- индикатор, который отображает текущее состояние устройства;
- клавиатура, при помощи которой можно корректировать режим работы устройства;
- модуль GPS/ГЛОНАСС, использующийся для определения координат измерений;
- измеренные данные, передающиеся с устройства на компьютер PC по интерфейсу USB;
- драйвер двигателя, использующийся для преобразования управляющих сигналов малой мощности в токи, достаточные для управления моторами.

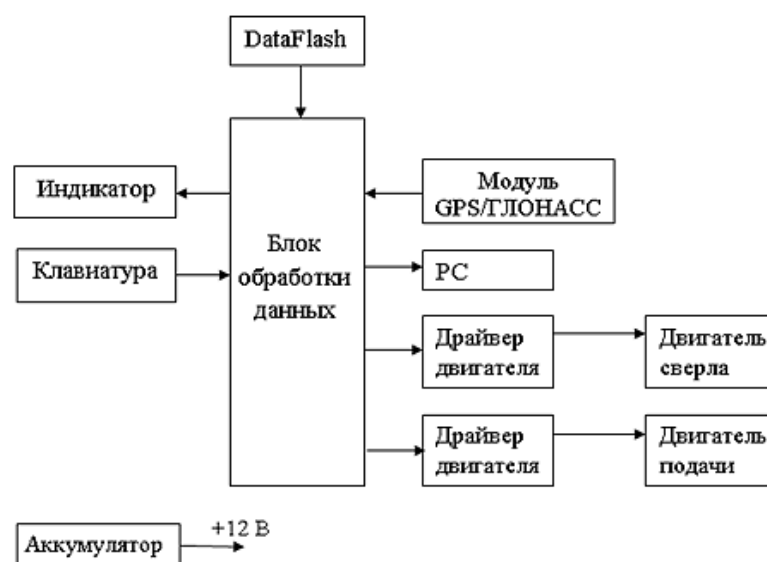


Рисунок 1 – Модульная структура устройства измерения плотности древесины

Разработка функциональной схемы устройства измерения плотности древесины (рис. 2) ведется согласно общей модульной структуре микроконтроллерной системы [1].

DataFlash использует последовательный интерфейс SPI для последовательного доступа к данным. Этот интерфейс облегчает подключение аппаратных средств, повышает надёжность системы, уменьшает помехи переключения, а также позволяет уменьшить габаритные размеры и количество задействованных выводов ИМС. Для операций чтения и записи DataFlash работает от однополярного источника питания (от 5 В).

Последовательный интерфейс DataFlash совместим с нулевым и третьим режимами последовательного периферийного интерфейса (SPI). Таким образом, память DataFlash может быть легко подключена к AVR-микроконтроллеру.

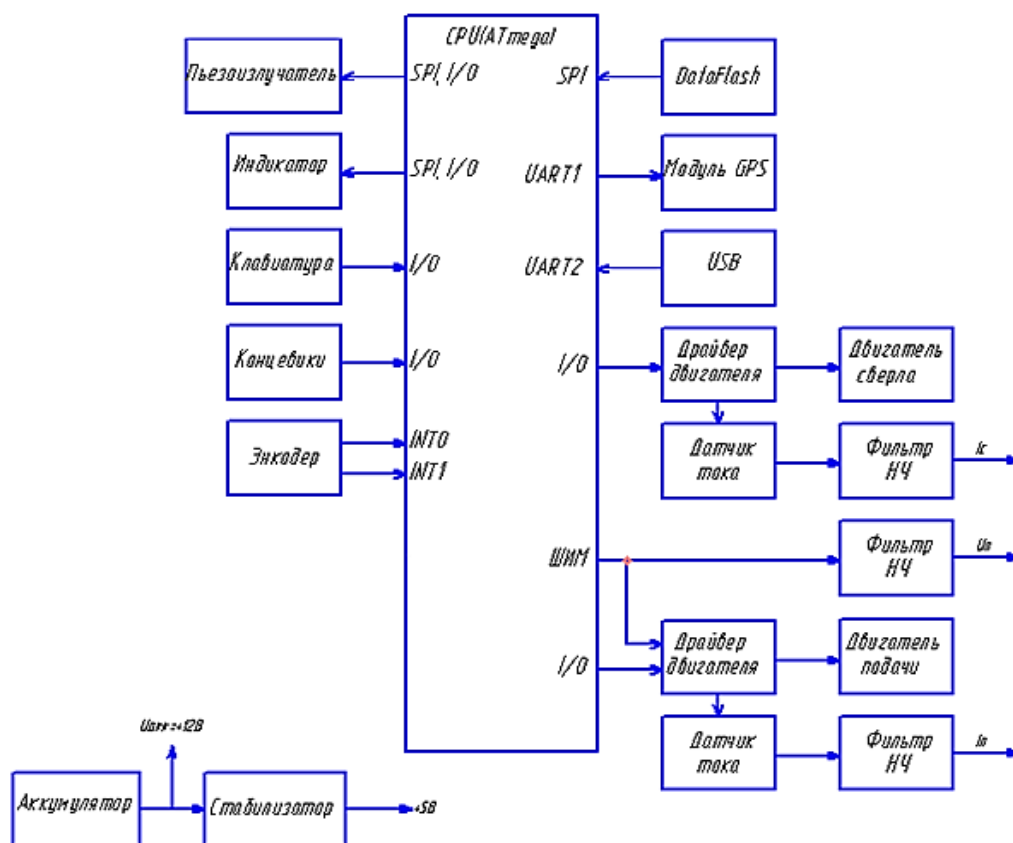


Рисунок 2 – Функциональная схема устройства измерения плотности древесины

Пьезоизлучатель, клавиатуру, концевики, драйверы двигателя подключают к одним из свободных входов-выходов микроконтроллера.

Индикатор подключают к входу с последовательным интерфейсом.

Энкодер – устройство, предназначенное для преобразования угла поворота сверла в электрические сигналы, позволяющие определить угол его поворота. Подключим сигнал А ко входу внешнего прерывания INT0, сигнал В – на свободный вход для чтения состояния.

Модуль GPS и USB отдают полученные данные через стандартный UART-интерфейс. Естественно, что при их подключении к микроконтроллеру уровень напряжения на линиях связи не должен превышать допустимого предела 5 В.

Разработка структуры задачи/состояния. Программные модули определяются на основе анализа требований пользователя и функциональной спецификации. Будем представлять программную часть в виде структуры задачи/состояния. На рисунке 3 приведена диаграмма задач устройства измерения плотности древесины.

Первый этап – задачи.

В соответствии с техническим заданием и анализом функциональной схемы выделим следующие задачи:

- 1) «Управляющая программа» (переключение режима работы контроллера измерителя плотности древесины на основании сообщений от других задач);
- 2) «Управление двигателем подачи»;
- 3) «Управление двигателем сверла» (управление скоростью вращения двигателя);
- 4) «Формирование скан-кода» (сканирование клавиатуры и формирование скан-кода нажатой клавиши);

- 5) «Данные» (прием и передача данных между внешним устройством на микроконтроллере и компьютером);
- 6) «Звуковое оповещение»;
- 7) «Управление индикатором»;
- 8) «Обработка данных GPS»;
- 9) «Интерфейс DataFlash».

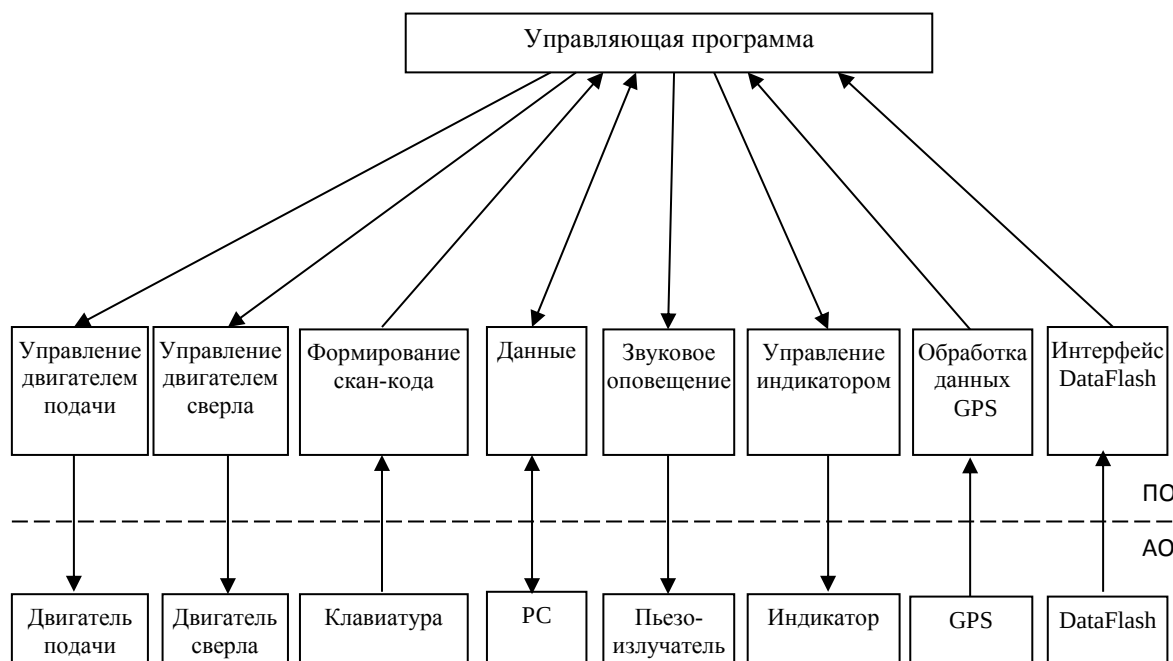


Рисунок 3 – Диаграмма задач устройства измерения плотности древесины

Как говорилось выше, для малых систем небольшой сложности – микроконтроллеров – нашли широкое применение реализация программного обеспечения по типу «суперпетля» и одна из технологий разработки ПО для таких систем – «задачи/состояния».

На данном этапе проектируем программное обеспечение в виде диаграмм потоков. Состав потоков, входящих в «суперпетлю», определяется диаграммой задач и может иметь вид, изображенный на рисунке 3. Такой вид имеет программное обеспечение в случае одинакового приоритета у всех потоков.

Второй этап проектирования – представление программного обеспечения в виде диаграммы потоков. Приоритетное планирование в случае реализации программного обеспечения по типу «суперпетля» осуществляется через ряд высокоприоритетных потоков, представляющих собой подпрограммы обработки прерываний и последовательно выполняемых в фоновом режиме потоков с одинаково низким приоритетом, образующих «суперпетлю». Система прерываний заставит процессор переключаться при необходимости от выполнения низкоприоритетных фоновых потоков к высокоприоритетным. В отсутствие прерываний последовательно выполняются потоки, помещенные в общий цикл.

Для нашего случая высокоприоритетными следует реализовать три потока: «Сканирование клавиатуры», «UART1 подпрограмма прием/передача» и «UART2 подпрограмма прием/передача». Потоки «UART1 подпрограмма прием/передача» и «UART2 подпрограмма прием/передача» осуществляют прием/передачу данных. Поток «Ска-

нирование клавиатуры» осуществляет сканирование клавиатурной матрицы с периодом, задаваемым установкой прерываний от встроенного микроконтроллера.

На рисунке 4 представлена организация полученного программного обеспечения.

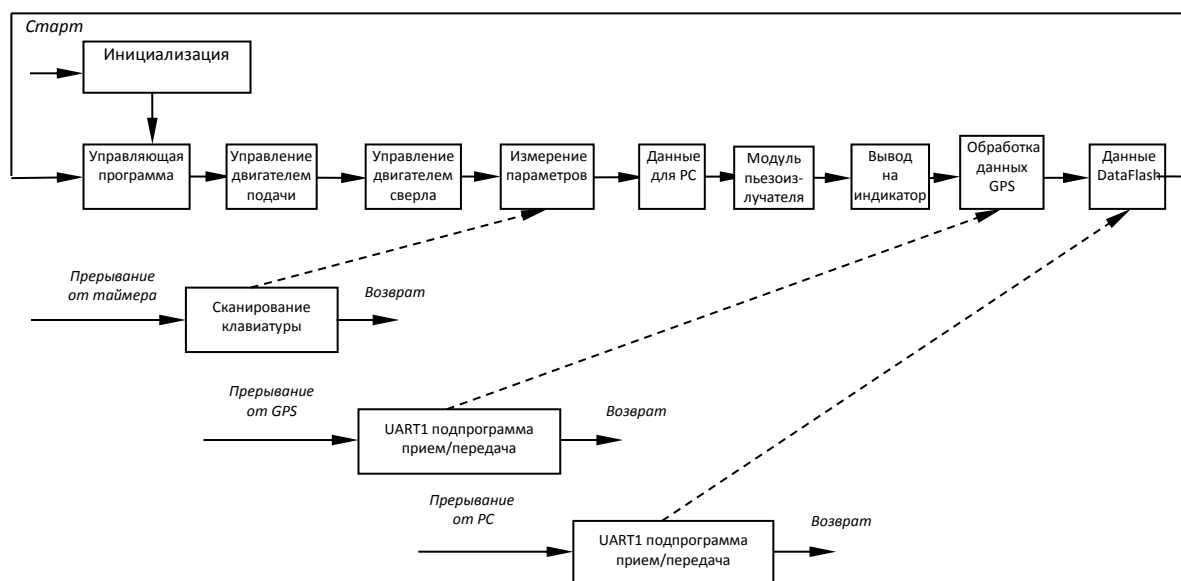


Рисунок 4 – Организация ПО «суперсеть»

На данном этапе необходимо решить вопросы, связанные с механизмами переключения потоков и взаимодействия между ними.

Активизация высокоприоритетных потоков осуществляется по аппаратным прерываниям от датчиков и от таймера. Переключение потоков фоновый цикл осуществляется в режиме без вытеснения, т.е. каждый поток сам передает управление следующему потоку.

Необходимо, чтобы процессор внутри потока не был занят длительное время. Также предполагается, что алгоритм каждого потока не имеет блокирующих состояний, которые привели бы к непредсказуемо долгому нахождению в выполняемом потоке.

Циклическое переключение потоков можно организовать при помощи следующей конструкции:

```
while(1) —/* выполнять непрерывно*/;
while (1) /* выполнять непрерывно*/
{ поток 1; ... поток n;}
```

Взаимодействие между потоками подразумевает доступность данных, сформированных в одном потоке, другим потокам, а также синхронизацию работы различных потоков.

В простейшем случае пользователю самому следует организовать данный механизм.

Данные между потоками можно передавать с помощью глобальных переменных, а также посредством вызова функций.

Для устранения проблем искажения данных, связанных с приоритетным прерыванием потоков, используют следующие правила проектирования:

- выделить и защитить критические области;
- выделить и изолировать все передачи данных между потоками.

Таким образом, метод сверления является наиболее перспективным. Предполагается использование устройства в лесозаготовительных и обрабатывающих предприятиях, а также для проведения исследовательских работ.

Список литературы

1. Мясников В. И. Микропроцессорные системы: лабораторный практикум. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015.
2. Салдаева Е. Ю., Цветкова Е. М. Предварительное диагностирование прочностных свойств древесины по показателю динамического модуля упругости вибрационным способом // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2014. № 2. С. 55-62.
3. Шмуратко А. С. Обзор современных устройств, предназначенных для исследования состояния древесины. СПб.: Ленэкспо, 2010. 23 апреля [Электронный ресурс]. URL: <http://drevoved.ru/Publikacii/ustrojstva.html> (дата обращения 02.06.2017).

DEVELOPMENT OF MICROCONTROLLER DEVICE MEASUREMENT OF WOOD DENSITY

Rusanova Nina Vladimirovna, Morohin Dmitriy Vitalyevich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The development of a device for determining the density of wood through the power applied to the drill bit during drilling of the test sample is considered. The main advantages of the device are the simplicity of measurements, low cost, high speed and accuracy. It is intended to use the device in logging and processing enterprises, as well as for conducting research.

Keywords: *microcontroller device, density determination, controller, wood density, drill.*

УДК 691.11:66.021.3

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБРАЗЦОВ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА

¹*Котлов Виталий Геннадьевич, ¹Иванова Мария Анатольевна,*
²*Макаров Роман Александрович*

¹ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
KotlovVG@volgatech.net

² ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет», г. Иваново

В статье приведены результаты экспериментального исследования процессов тепло- и влагопереноса по поверхности древесины нагельного соединения. Получены данные по изменению температуры древесины, находящейся на границе с нагретым металлическим болтом. Установлен характер распределения влажности по высоте деревянного образца. Экспериментальные данные соответствуют разработанным математическим моделям.

Ключевые слова: *древесина, нагельные соединения, тепломаассоперенос, распределение тепла, влажность*

Введение. На холодных чердаках зданий элементы стропильной системы располагаются в непосредственной близости к кровельному покрытию, которое часто выполняется из стальных листов. Летом температура наружного воздуха днем достигает 30-35 °С, что приводит к нагреву покрытия кровли и повышению температуры внутри чердачного помещения. Слуховые окна, устанавливаемые для проветривания данной части здания, часто не выполняют свою функцию в полном объеме. При этом происходит быстрое нагревание металлических деталей, соединяющих элементы стропильной системы. К вечеру температура наружного воздуха понижается. Соответственно изменяется температура металла и древесины. Спустя какое-то время температура воздуха достигает температуры точки росы, и дальнейшее охлаждение сопровождается выпадением конденсата, влаги, что сказывается на влажности древесины и коррозии металла крепежных изделий. Постоянное увлажнение материала элементов стропильной системы со временем приводит к ее разрушению и гниению [1].

Влияние циклически изменяющихся температурно-влажностных условий эксплуатации позволяет учесть теория тепломаассопереноса, основоположником которой является А. В. Лыков [2]. Тепломаассоперенос включает в себя феноменологические теории молекулярного переноса теплоты и массы вещества (теплопроводность и диффузия), количества движения жидкости (внутреннее трение) и гидродинамику вязких жидкостей при фазовых и химических превращениях в их неразрывной связи. Теоретическое изложение процесса взаимодействия древесины с металлом в системе «газ –

твердое» при моделировании тепломассопереноса представлено в работах [3-6]. Для проверки адекватности разработанных математических моделей необходимо экспериментально исследовать состояние древесины при воздействии тепла и переносе влаги по поверхности древесины.

Цель работы – исследовать состояние древесины при моделировании тепломассопереноса.

Решаемые задачи: исследовать процессы теплопереноса в древесине при нагревании болта; изучить процессы влагопереноса при диффузионном увлажнении образца древесины.

Техника эксперимента. Для исследования процесса теплопереноса в древесине был изготовлен деревянный образец из сосны размером $50 \times 150 \times 150$ мм. В данном образце высверлили отверстие, в которое поместили нагретый стальной болт диаметром 16 мм. Через равные промежутки времени фиксировали распределение температуры по поверхности древесины образца около болта с помощью оптико-электронного измерительного устройства (тепловизора) [7]. При проведении испытания внутри помещения температура воздуха была 26°C , относительная влажность воздуха составляла 65 %. На момент испытания образцы находились при данных температурно-влажностных условиях не менее трех суток. Равновесная влажность древесины составляла 11,6 %. Схема установки показана на рисунке 1.

Для экспериментального исследования процесса влагопереноса был изготовлен образец из древесины сосны в форме прямоугольной призмы размером $45 \times 55 \times 100$ мм. На одной из поверхностей высверлили отверстия диаметром 2,5 мм через каждые 10 мм по высоте образца для игл влагомера. После того как образец установили на мокрую древесину, находящуюся в таре с водой, начался процесс влагопереноса снизу вверх вдоль образца. Через равные промежутки времени производили измерения влажности в отверстиях образца с помощью игольчатого влагомера, который работает по методу электрического измерения сопротивления [8]. На основании показаний температуры (28°C) и относительной влажности воздуха внутри помещения (53 %) определили равновесную влажность образца, которая составила 9,2 %. Схема испытания показана на рисунке 2.

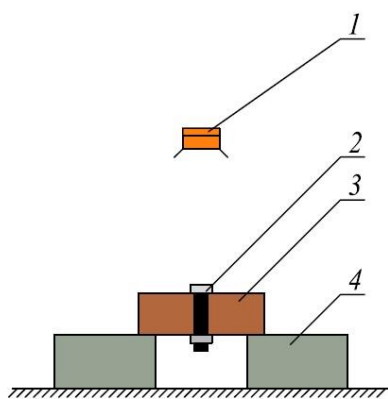


Рисунок 1 – Установка для измерения распределения температуры по поверхности древесины:
1 – тепловизор, 2 – стальной болт,
3 – образец древесины, 4 – опоры

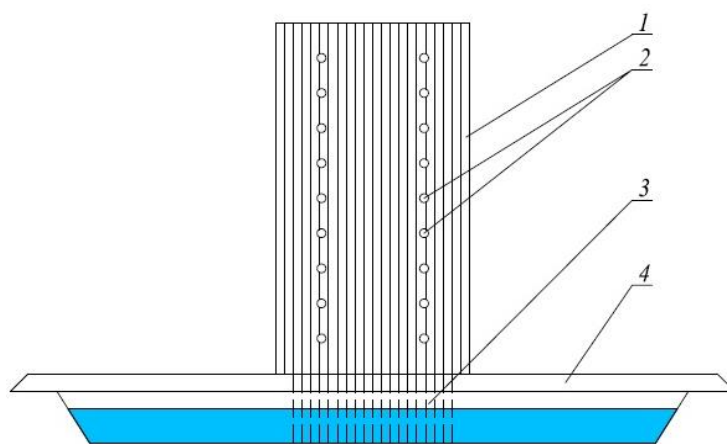


Рисунок 2 – Установка для исследования процесса влагопереноса по высоте деревянного элемента:
1 – образец древесины, 2 – отверстия для игл влагомера,
3 – мокрая древесина, 4 – тара с водой

Интерпретация результатов. В результате исследования процессов теплопереноса в древесине при нагревании металлического крепежного изделия были получены данные о распределении температуры по поверхности древесины около болта. Инфракрасные изображения, полученные с помощью тепловизора, представлены на рисунке 3. Древесина нагревалась постепенно концентрическими кольцами от поверхности болта. Максимальные значения температура древесины имела на расстоянии не более 15 мм от границы металлического крепежного изделия. К равновесному состоянию система «древесина – болт» пришла через 1 час после начала испытания.

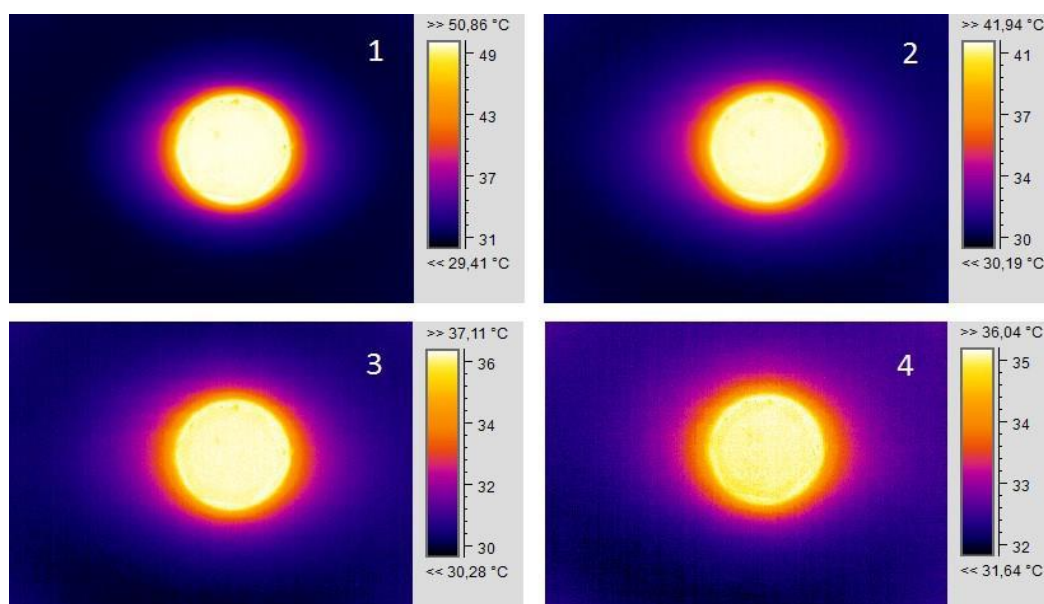


Рисунок 3 – Распределение температуры по поверхности древесины после нагрева болта в течение: 1 – 5 мин; 2 – 10 мин; 3 – 20 мин; 4 – 30 мин

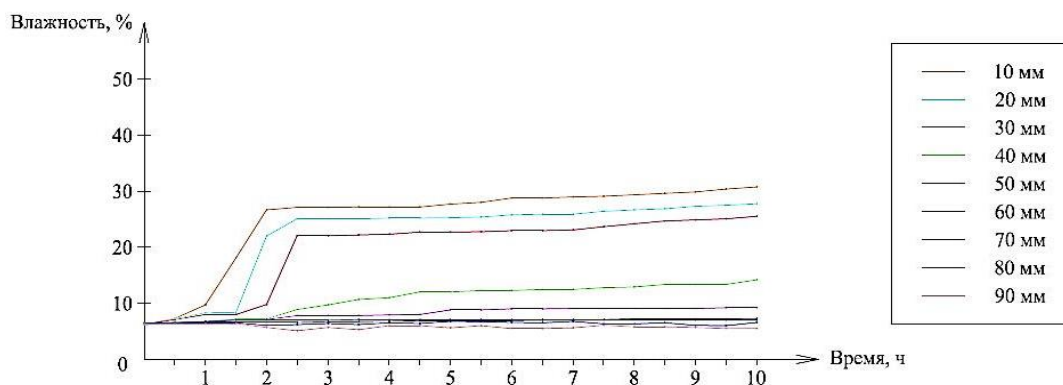


Рисунок 4 – Влажность древесины на расстояниях 10-90 мм от низа образца

В результате проведения второй части эксперимента по исследованию влагопереноса получили данные о распределении влажности по высоте деревянного образца. Результаты замера влажности древесины на расстояниях 10-90 мм от низа образца представлены на рисунке 4. Предела гигроскопичности древесина достигла через 10 часов влагопереноса на расстоянии 10 мм от низа. Максимальное гигроскопическое влагосодержание составило 43,8 % на расстоянии 10 мм от низа, что произошло через 40 часов после начала проведения испытания. Дальнейшие показания влажности были существенно ниже.

Выводы. Стропильная система является одним из важнейших элементов здания. В процессе эксплуатации ее элементы подвергаются циклически изменяющимся температурно-влажностным воздействиям. Для исследования процесса теплопереноса в деревянный образец поместили нагретый стальной болт, и с помощью тепловизора получили данные о распределении температуры по поверхности древесины около болта. В результате реализации второй части экспериментальных исследований были получены данные о распределении влаги по высоте деревянного элемента по мере его увлажнения. Таким образом, проведен комплекс экспериментальных исследований по моделированию тепломассопереноса. Полученные данные соответствуют решению краевых задач тепло- и влагопереноса, приведенных в работах [3, 4].

Список литературы

1. Покровская Е. Н., Ковальчук Ю. Л. Химико-микробиологический метод исследования древесины // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2017. № 1 (33). С. 86-92.
2. Лыков А. В., Михайлов Ю. А. Теория тепло- и массопереноса. М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, 1963. 536 с.
3. Моделирование тепломассопереноса в системе газ – твердое при нагельном соединении элементов деревянных конструкций. Часть 1: Общая физико-математическая постановка задачи / С. В. Федосов, В. Г. Котлов, Р. М. Алоян, Ф. Н. Ясинский, М. В. Бочков // Строительные материалы. 2014. № 7. С. 86-91.
4. Моделирование тепломассопереноса в системе газ – твердое при нагельном соединении элементов деревянных конструкций. Часть 2: Динамика полей температуры при произвольном законе изменения температуры воздушной среды / С. В. Федосов, В. Г. Котлов, Р. М. Алоян, Ф. Н. Ясинский, М. В. Бочков // Строительные материалы. 2014. № 8. С. 73-79.
5. Моделирование тепломассопереноса в системе газ – твердое при нагельном соединении элементов деревянных конструкций. Часть 3. Динамика и кинетика влагопереноса / С. В. Федосов, В. Г. Котлов, Р. М. Алоян, Ф. Н. Ясинский, М. В. Бочков // Строительные материалы. 2014. № 9. С. 63-69.
6. Моделирование тепломассопереноса в системе газ – твердое при нагельном соединении элементов деревянных конструкций. Часть 4: Моделирование и численная реализация процессов конденсации, испарения и массопроводности влаги / С. В. Федосов, В. Г. Котлов, Р. М. Алоян, Ф. Н. Ясинский, М. В. Бочков // Строительные материалы. 2014. № 10. С. 44-50.
7. Экспериментальное исследование процессов теплопереноса в болтовом нагельном соединении / С. В. Федосов, В. Г. Котлов, Р. М. Алоян, М. В. Бочков, Р. А. Макаров // Строительные материалы. 2016. № 12 (744). С. 83-85.
8. Методика экспериментального исследования массопроводных характеристик волокнистых и древесно-волокнистых материалов / С. В. Федосов, В. Г. Котлов, Р. М. Алоян, М. В. Бочков, М. А. Иванова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2016. № 5 (365). С. 90-93.

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF WOOD SAMPLES IN THE MODELING OF HEAT AND MASS TRANSFER

¹Kotlov Vitaliy Gennadievich, ¹Ivanova Maria Anatolyevna, ²Makarov Roman Aleksandrovich

¹Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

²Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo

The article presents the results of experimental investigation of processes of heat and moisture transfer at the wood surface of the dowel connection. Data on the temperature change of the wood located on the boundary with heated metal bolt are obtained. The nature of the moisture content distribution along the height of the wooden specimen is established. The obtained experimental data correspond to developed mathematical models.

Keywords: wood, dowel connections, heat and mass transfer, distribution of heat, moisture content.

УДК 624.15

ПОИСК ЭФФЕКТИВНОЙ КОНСТРУКЦИИ ФУНДАМЕНТА МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

¹*Мирошин Александр Николаевич, ¹Вайнштейн Виктор Мейлехович,*
²*Москвина Ольга Сергеевна*

¹ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

²ООО «Центр многофункционального каркасного строительства», г. Йошкар-Ола

MiroshinAN@volgatech.net

Статья посвящена конструкциям фундаментов мелкого заложения, которые широко используются в отечественной и зарубежной практике строительства. Подробно рассмотрены и рассчитаны конструктивные элементы выбранных фундаментов и величины осадок фундаментов, которые удовлетворяют всем нормативным требованиям. Определена сметная стоимость каждого варианта фундамента. На основе этого сделан вывод об оптимальном варианте фундамента для данного однородного геологического залегания грунтов. Данная статья предназначена для специалистов в области промышленного и гражданского строительства и инженеров-проектировщиков, студентов и аспирантов.

Ключевые слова: фундамент мелкого заложения, оптимальное проектирование, сметная стоимость строительства, грунты, деформации.

Введение. При реализации программы по строительству жилья для многодетных семей и в целом по строительству малоэтажных зданий встает выбор оптимального типа фундамента мелкого заложения. Выбор того или иного типа фундамента под здание зависит от ряда факторов [1]:

- характеристики грунта на месте строительства [2];
- близости грунтовых вод и уровня промерзания грунта;
- наличия подвального помещения;
- общих размеров здания, нагрузок, оказываемых строением.

Цель работы. В статье на примере строительства административного корпуса в Волгограде проводится выбор оптимального типа фундамента, который возводится на глинистом тугопластичном однородном грунте [3]. Как правило, этот грунт часто залегает в верхних слоях, поэтому проблема строительства на этих грунтах становится особенно актуальной [5]. Показатель текучести составляет $I_L = 0,5$, модуль общей деформации грунта $E = 15$ МПа.

Глубина заложения фундамента принята равной 1 м, что больше глубины промерзания. Подвального помещения в здании нет.

Площадка в целом пригодна для возведения здания, но необходимо рассмотреть, какой тип фундамента будет лучшим для данного вида грунта [6]. Нагрузка на фундаменты под колонну, оказываемая строением, составила 1529,48 кН.

Основная часть. На основании этих факторов были рассмотрены следующие варианты фундаментов: 1 – на естественном основании; 2 – на песчаной подушке; 3 – в вытрамбованном котловане [7].

На основе данных в результате расчетов были определены необходимые значения:

– при расчете фундамента на естественном основании [8] – размер подошвы фундамента $2,9 \times 2,9$ м; осадка фундамента $S = 2,73$ см. Осадка фундамента не превышает нормативного значения $S_{пред} = 8$ см;

- при расчете фундамента на песчаной подушке [3] – размер подошвы фундамента $2,2 \times 2,2$ м; высота подушки $h_n = 1,2$ м; осадка фундамента $S = 3,01$ см $< S_{пред} = 8$ см;
- при расчете фундамента в вытрамбованном котловане [9] – объем втрамбованного щебня $V_{щ} = 2$ м³; размер фундамента $900 \times 2500 \times 200$ мм; осадка фундамента $S = 3,47$ см $< S_{пред} = 8$ см.

После конструктивного расчета всех типов фундаментов на первом этапе были определены основные объемы необходимых материалов и земляных работ.

Подсчитаны объемы бетона трех вариантов фундаментов:

- 1) объем фундамента на естественном основании $V = 5,36$ м³;
- 2) объем фундамента на песчаной подушке $V = 2,97$ м³;
- 3) объем фундамента в вытрамбованном котловане $V = 0,67$ м³.

Зависимость объемов земляных работ и объемов бетона по трем видам фундаментов можно увидеть на рисунке 1.



Рисунок 1 – Зависимость объемов земляных работ и объемов бетона

На основе расчетов выбираем фундамент в вытрамбованном котловане, так как его объем наименьший [10].

Для определения самого оптимального варианта фундамента мелкого заложения необходимо провести экономические расчеты, что позволит выбрать самый экономичный тип фундамента.

Составлены три сметы. Сметы составлялись в сметной программе «Арос» на один фундамент. Самое главное – узнать сметную стоимость строительства.

Сметная стоимость строительства (объем капитальных вложений) предприятий, зданий и сооружений – сумма денежных средств, необходимых заказчику для строительства объекта в соответствии с проектными материалами [5].

По смете фундамента мелкого заложения на естественном основании сметная стоимость работ составила 6 854 руб., средства на оплату труда – 449 руб., трудоемкость работ – 53 чел./ч.

По смете фундамента мелкого заложения на песчаной подушке сметная стоимость работ составила 5 189 руб., средства на оплату труда – 433 руб., трудоемкость работ – 52,33 чел./ч.

По смете фундамента мелкого заложения в вытрамбованном котловане сметная стоимость работ составила 3 794 руб., средства на оплату труда – 239 руб., трудоемкость работ – 25,22 чел./ч.

Сметная стоимость строительных и монтажных работ ($C_{\text{смп}}$) по экономическому содержанию в основном состоит из прямых затрат (ПЗ), накладных расходов (НР) и сметной прибыли (СП).

Сметная прибыль – это нормативная (гарантированная) прибыль подрядной организации в составе цены строительной продукции, идущая в основном на развитие производственной базы и социальной сферы подрядчика [4].

На фундаменты на естественном основании ПЗ составляют 6 219 руб., НР – 408 руб., СП – 227 руб.; на песчаной подушке ПЗ – 4 479 руб., НР – 446 руб., СП – 264 руб.; в вытрамбованном котловане ПЗ – 3 091 руб., НР – 436 руб., СП – 267 руб.

Зависимость стоимости земляных работ и стоимости бетона можно увидеть на рисунке 2.

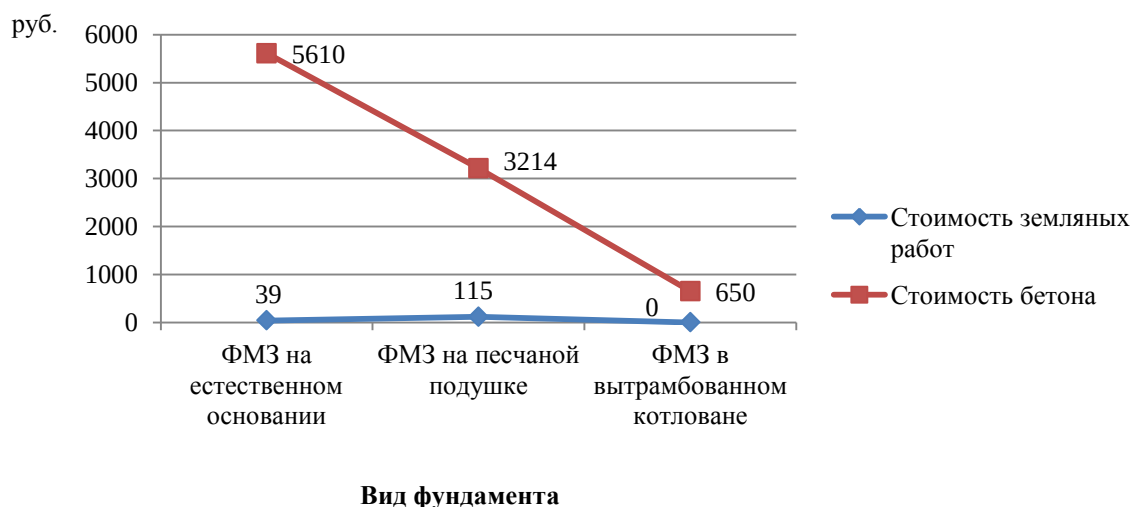


Рисунок 2 – Зависимость стоимости земляных работ и стоимости бетона

Выводы. После изучения и сравнения трех видов фундаментов мелкого заложения на экономическом уровне было принято решение – для четырехэтажного административного здания выбрать фундаменты в вытрамбованном котловане.

По рисунку 3 видно, что самый выгодный фундамент – это фундамент в вытрамбованном котловане.

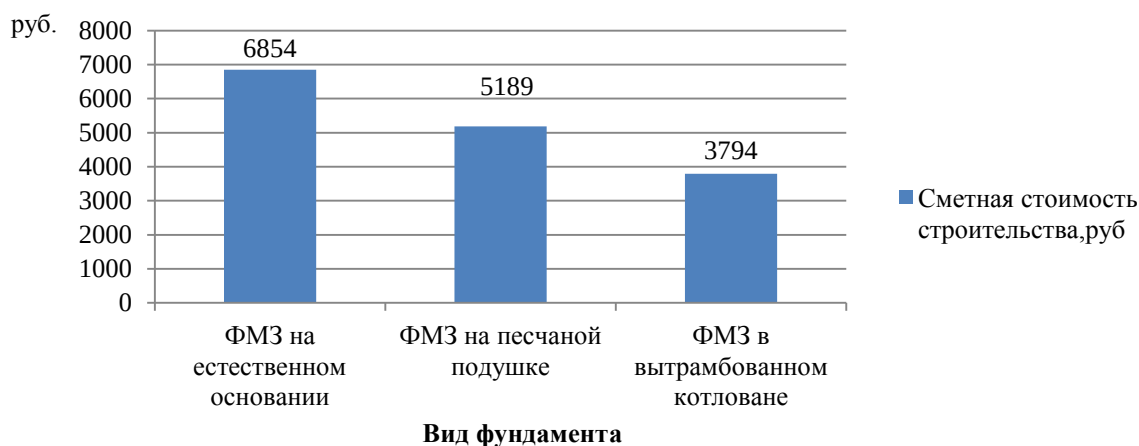


Рисунок 3 – Сметная стоимость строительства трех видов фундаментов

Результаты исследования будут полезны для специалистов в области промышленного и гражданского строительства, инженеров-проектировщиков, студентов, аспирантов, магистрантов.

Список литературы

1. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под общ. ред. В. А. Ильичева и Р. А. Мангушева. М.: АСВ, 2014. 728 с.
2. Бартоломей А. А. Механика грунтов: учеб. пособие. Пермь: Перм.гос.техн.ун-т. 2001. 241 с.
3. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений / НИИОСП им. Герсеванова. М.: Стройиздат, 2011. 166 с.
4. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений / НИИОСП им. Герсеванова. М.: Стройиздат, 1986. 415 с.
5. Krutov V. I. Suggestions for classification of beds and foundations // Soil mechanics and foundation engineering. 2013. No. 50-1. P. 33-37. DOI: 10.1007/s11204-013-9206-z.
6. Wei H. W., Wu Y. Z., Yu Z. H. Design parameter optimization of beam foundation on soft soil layer with nonlinear finite element // Journal of Central South University. 2012. Vol. 19, No. 6. C. 1753–1763.
7. Готман А. Л., Шеменков Ю. М. Исследование работы фундаментов в вытрамбованных котлованах на вертикальную нагрузку и их расчет // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2015. № 3. С. 23-40. DOI: 10.15593/2224-9826/2015.3.04.
8. Тетиор А. Н. Основания и фундаменты. М.: Издательский центр «Академия», 2012. 448 с.
9. Bartolomey L., Glushkov A., Glushkov V. Effective structures of tamped foundations of frame buildings // XV International conference "Topical problems of architecture, civil engineering, energy efficiency and ecology – 2016". URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/20167301026>
10. Seitz K.-F., Grabe J. Three-dimensional topology optimization for geotechnical foundations in granular soil // Computers and Geotechnics. 2016. Vol. 80. P. 41-48.

SEARCH EFFICIENT DESIGN OF SHALLOW FOUNDATION

¹*Miroshin Alexander Nikolaevich, ¹Vajnshtejn Victor Meylehovich,*
²*Mockvina Olga Semenovna*

¹Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

²MLLC "CENTER MFB", Yoshkar-Ola

The article is devoted to the designs of shallow foundations, which are widely used in domestic and foreign building practice.. Detailed and designed constructive selected foundations and magnitude of sediment foundations that meet all regulatory requirements. Calculated quantities of work and materials for each constructive version of the foundation. Based on this conclusion on the optimally foundation for this homogeneous geological formation of soils. This article is intended for specialists in the field of industrial and civil construction engineers and designers, students and postgraduates.

Keywords: *foundation of small deposits, optimal design, estimated cost of construction, soils, deformations.*

УДК 630.377.1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОТАЛЕВОВОГО ГРЕЙФЕРА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ ЙОШКАР-ОЛИНСКОГО КИРПИЧНОГО ЗАВОДА

Никишов Юрий Гаврилович

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

Приведены результаты экспериментальных исследований работы мостового крана с электроталевым грейфером для зачерпывания глины в глиноприёмнике завода, техника проведения эксперимента и обработка полученных результатов, аппаратура для замера искомых величин и параметров. Сделаны выводы по улучшению работы грейфера и повышению его долговечности и надёжности.

Ключевые слова: кран, грейфер, механизм замыкания, насыпная плотность, канат, зачерпывающая способность.

Введение. Совершенствование грузоподъёмного оборудования, работающего в отрасли строительных материалов, является актуальной задачей и имеет большую практическую значимость.

Цель настоящего исследования – выявление основных факторов, влияющих на работоспособность грейфера и его технические характеристики в конкретных производственных условиях завода, позволяющих увеличить срок службы его основных узлов и деталей.

Как показывает практика эксплуатации приводных грейферов, независимо от области применения основной причиной их малой долговечности является выход из строя механизма замыкания челюстей [1, 3-5].

В задачи исследований входило определение насыпной плотности зачерпываемой глины; зачерпывающей способности грейфера при разной насыпной плотности глины и её состоянии; продолжительности набора и разгрузки глины; мощности электродвигателя электротали в рабочем и холостом режимах работы грейфера; рабочего усилия в замыкающем канате полиспаста; КПД грейфера.

Техника эксперимента и методика обработки полученных результатов. Исследование проводилось на мостовом кране КМГ–5–ВТ-22,5–12–УЗ грузоподъёмностью пять тонн, на крюк которого навешивался электроталевый грейфер (рис. 1).

Кран с грейфером выполнял следующие работы: зачерпывание глины с насыпи с разгрузкой в бункер или транспортное средство. Достоверность приведённых результатов получена путём обработки экспериментальных данных методами вариационной статистики [2], в частности способом непосредственного вычисления, позволяющим с достаточной степенью надёжности получить исследуемые величины и охарактеризовать данный вариационный ряд.

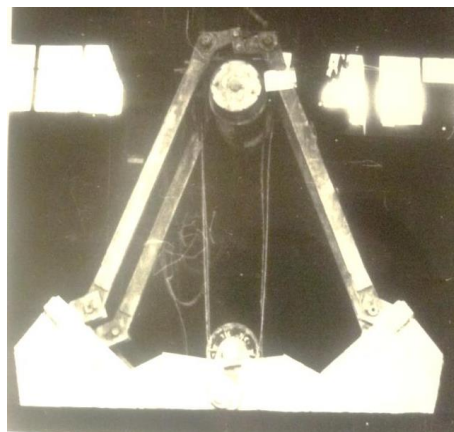


Рисунок 1 – Внешний вид грейфера

Насыпная плотность глины определялась в летнее время в лаборатории завода у взятых образцов с места производства работ (в глиноприёмнике) в соответствии с требованиями ГОСТ 5180–84, ГОСТ 8735–88. Насыпная плотность зачерпываемой свеженасыпанной глины составила $\rho_m = 1250 \dots 1260 \text{ кг/м}^3$; слежавшейся и сухой комковатой глины – $\rho_m = 1310 \dots 1320 \text{ кг/м}^3$.

Зачерпывающая способность грейфера определялась путём зачерпывания глины из насыпи. Для определения массы зачерпнутой глины вначале замерялась масса порожнего грейфера, потом масса грейфера с зачерпнутой глиной. Разница составляла массу зачерпнутой глины. Для замера всех масс использовался динамометр марки ДОР– 8 грузоподъёмностью восемь тонн. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Определение зачерпывающей способности

Плотность глины, кг/м^3	Масса зачерпнутой глины (средняя), кг	Число наблюдений	Коэффициент вариации, %	Показатель точности, %	Показатель достоверности	Вероятность результатов
1260	2200	25	10,6	2,1	1,96	0,95
1310	1900	20	8,4	2,0	1,96	0,95

Продолжительность набора и разгрузки ковша грейфера измерялась секундомером и сравнивалась с паспортными значениями. Результаты измерений приведены в таблице 2.

Таблица 2

Определение продолжительности зачерпывания и разгрузки глины

Рабочее состояние грейфера	Время (среднее), с	Число наблюдений	Коэффициент вариации, %	Показатель точности, %	Показатель достоверности	Вероятность результата
Зачерпывание	16,2	30	10,7	3,8	1,96	0,95
Разгрузка	15,1	30	8,2	1,5	1,96	0,95

Мощность электродвигателя тали определялась как при зачерпывании глины, так и в холостом режиме (без глины). Запись мощности велась самописцем мощности Н–348. Результаты измерений приведены в таблице 3. Мощность холостого хода составила 7,4 кВт при закрытии грейфера и 7 кВт при его открытии.

Таблица 3

Мощность электродвигателя в конце процесса зачерпывания глины

Насыпная плотность глины, кг/м^3	Число наблюдений	Время зачерпывания (среднее), с.	Полезная мощность (средняя), кВт	Мощность электродвигателя, кВт	
				паспортная	полная (средняя)
1250...1260	10	17,1	8,6	8,0	16,0
1310...1320	20 (10)	15,4 (16,1)	10,8	8,0	15,4 (25,6)

Рабочее усилие в замыкающем канате полиспаста определялось тензодинамометрическим методом. Для этих целей использовался кольцевой тензодинамометр с наклеенными датчиками, который устанавливался в концевой ветви каната полиспаста. Электрические сигналы с датчиков фиксировались через усилитель на фотобумаге осциллографа Н–117/1. Пример записи усилия в канате показан на рисунке 2.

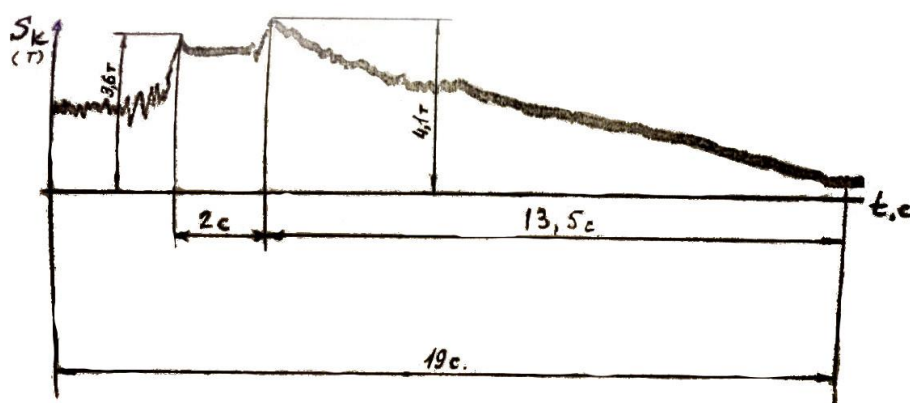


Рисунок 2 – Осциллограмма записи усилий в замыкающем канате

Следует отметить, что данный метод хорош в лабораторных условиях и малоприменим в условиях производства, так как громоздок и дорогостоящий. Результаты обработанных осциллограмм приведены в таблице 4.

Таблица 4

Усилие в канате механизма замыкания грейфера в конце процесса зачерпывания глины

Насыпная плотность глины, кг/м ³	Усилие в канате (среднее), кН		Число наблюдений	Коэффициент вариации, %	Показатель точности, %	Показатель достоверности	Вероятность результатов
	при полном закрытии	при неполном закрытии					
1310...1320	43	38	15 10	9,6 10,0	2,55 3,1	1,96 1,96	0,95 0,95

Коэффициент полезного действия грейфера определялся в реальных условиях эксплуатации двумя методами: методом работ и методом мощностей. Сущность метода работ заключается в следующем. По известным осциллограммам мощности, записанным ваттметром при зачерпывании глины, и мощности холостого хода при закрытии грейфера определяется полная работа при зачерпывании путём замера площади осциллограмм с помощью планиметра и работа холостого хода. Зная полезную работу и общую работу на зачерпывание, находят КПД грейфера. Результаты замеров и расчёта приведены в таблице 5.

Таблица 5

Коэффициент полезного действия грейфера

Насыпная плотность глины, кг/м ³	Полезная работа, (средняя), кВт·с	Полная работа (средняя), кВт·с	КПД (средний)	Число наблюдений	Коэффициент вариации, %	Показатель точности, %	Показатель достоверности	Вероятность результата
1250...1260	139,7	250,7	≈ 0,55	10	8,0	2,5	1,96	0,95
1310...1320	171	287	≈ 0,6	15	4,83	1,25	1,96	0,95

Выводы

1. Применяемый на погрузочно-разгрузочных работах с глиной электроталевый грейфер недостаточно совершенен в кинематическом и конструктивном отношении,

имеет большую массу (2700 кг), низкий коэффициент полезного действия (0,6), малую долговечность электротали (3 месяца) и каната (1 месяц) и невысокую надёжность.

2. Основной причиной выхода грейфера из строя являются поломки механизма замыкания из-за значительных перегрузок, превышающих допустимые значения в несколько раз.

3. Грейфер имеет значительную толщину режущих кромок челюстей (33 мм), что создаёт большие сопротивления при зачерпывании глины и значительный перегруз элементов грейфера.

4. Мощность на зачерпывание глины превышает номинальную мощность электродвигателя тали в 2,0...3 раза, что приводит к его преждевременному выходу из строя.

5. Учитывая, что грейфер работает в весьма тяжёлых условиях с перегрузками, а электроталь пригодна только для работы в среднем режиме, она должна быть заменена на другой, более мощный механизм.

6. Усилие в замыкающем канате полиспаста превышает расчётное значение в 3...4 раза, что приводит к его частой замене.

7. Плохая эвакуационная способность грейферного ковша из-за липкости глины. При высыпании глины в ковше остаётся до 300 кг, что уменьшает производительность крана.

Список литературы

1. Каракулин Г. Г. Эксплуатация и ремонт грейферов. М.: Транспорт, 1973. 104 с.
2. Леонтьев Н. Л. Техника статических вычислений. М.: Лесная промышленность, 1960. 250 с.
3. Таубер Б. А. Грейферные механизмы. М.: Машиностроение, 1985. 272 с.
4. Никишов Ю. Г., Сленьков В. А. Комплексное обследование грузоподъёмных машин // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы Пятой Всероссийской конференции (Чебоксары, 2005 г.). Чебоксары: Чувашский университет, 2005. 336 с.
5. Никишов Ю. Г. Основные причины аварий грузоподъёмных машин и мероприятия по снижению риска этих аварий // Анализ риска: Методология, практика, перспективы: материалы научной конференции (Йошкар-Ола, 2009 г.). Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. 72 с.

EXPERIMENTAL TESTING OF ELECTROLYTE GRAB IN INDUSTRIAL CONDITIONS OF YOSHKAR-OLA FACTORY

Nikishov Yuri Gavrilovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The results of experimental testing of bridge crane with electrolyte grab on clay of grabbing into factory clay adopters, technique of conducting tests and processing the obtaining results, apparatus for measuring of searching sizes and parameters are presented. Conclusions on improving of grab performance and increasing of its durability and reliability are made.

Keywords: crane, grab bucket, closing mechanism, rope, bulk density, the debility to draw up.

УДК 069.4

ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРЫ ТИХВИНСКОЙ ЦЕРКВИ В ГОРОДЕ ЙОШКАР-ОЛЕ КАК ПРЕДМЕТ ОХРАНЫ ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Пенкин Юрий Афанасьевич, Попов Вадим Алексеевич

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
PenkinYa@volgatech.net, PopovVA@volgatech.net

В статье рассмотрены методологические принципы определения предмета охраны (особенностей) объекта культурного наследия на примере одного из объектов г. Йошкар-Олы – церкви Тихвинской иконы Божией Матери (1774 г.). Проведенные исторические и искусствоведческие изыскания, обследования памятника, связанные с его реставрацией, позволили разработать предмет охраны для данного объекта. Вместе с тем авторы сделали попытку определить примерную методику, которой можно пользоваться при разработках предметов охраны для других объектов культурного наследия.

Ключевые слова: объект культурного наследия (ОКН), паспорт ОКН, предмет охраны ОКН, церковь, алгоритм.

Актуальность проблемы. Выявленное противоречие. В настоящее время на территории России (включая Крым и Севастополь) зарегистрировано 183 тыс. объектов культурного наследия (далее – ОКН) муниципального, регионального и федерального значения, 25 ОКН включены в список всемирного наследия ЮНЕСКО. По данным Министерства культуры, печати и по делам национальностей Республики Марий Эл, на территории нашего региона принято на государственную охрану 1059 ОКН, среди них 225 памятников истории и архитектуры [14]. Каждый ОКН, расположенный на территории России, в соответствии с федеральным законом от 25.06.2002 № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» [1], должен иметь паспорт и сохраняться. Утвержденный предмет охраны ОКН может быть изменен и уточнен по результатам научных исследований. В этом отражены гибкость законодательства и требование научного подхода к сохранению ОКН.

Паспорт ОКН – это основополагающий документ для памятника архитектуры, от грамотного составления которого во многом зависит, каким мы «передадим» данный памятник нашим потомкам. Соответственно, формированием паспортов должны заниматься компетентные профессиональные структуры (лица). Практика Госзаказа на составление паспортов ОКН строится на конкурсной основе, когда решающую роль в выборе подрядчика играет, как принято говорить, «цена вопроса». В итоге не имеющий опыта в данной области подрядчик может столкнуться с целым рядом вопросов методологического характера.

Важнейшая составляющая паспорта ОКН – предмет охраны, который определяется Федеральным законом № 73-ФЗ как «особенности объекта культурного наследия, подлежащие обязательному сохранению» [1]. Обязательными особенностями, составляющими предмет охраны, являются градостроительные решения, объемно-планировочные решения, конструкции объекта, элементы и детали фасадов и интерьеров, а также его историческое использование.

В настоящее время при определении предмета охраны ОКН, расположенных на территории РФ, используются федеральные и ведомственные нормативные документы, имеющие некоторую недосказанность, противоречивость и рассчитанные на работу опытных специалистов высокого класса [2–4].

«Методические указания...» [4], разработанные в основном для города Москвы, на данный момент не соответствуют требованиям Федерального закона № 73-ФЗ в связи с его изменением. «Порядок утверждения ...» [3] рассматривает лишь процедурные вопросы и не содержит пунктов с алгоритмом предмета охраны. Более значителен и соответствует требованиям законодательства «Порядок определения...» [2], но и он обладает определенными недостатками – не содержит приложений, раскрывающих ход действий по определению предмета охраны на примере обобщенного или конкретного образца.

В данных нормативных документах отсутствует важная часть, необходимая специалистам регионов России, – приложения с образцами (алгоритмами), отображающими все этапы определения предмета охраны ОКН, начиная с порядка проведения камеральных и натурных исследований, анализа достоверности и значимости собранной информации и завершая порядком формирования предмета охраны на основе отобранной информации.

Наличие образцов-алгоритмов ни в коей мере не облегчит работу исследователя-специалиста, но сделает ее более результативной и качественной. Ведь все памятники архитектуры индивидуальны и даже при наличии типологического сходства отличаются по истории создания и ряду других признаков, в том числе по стиливым наслоениям.

Так, не имея образцов, для определения предмета охраны специалисты используют не утвержденные госорганом ОКН аналоги, содержащиеся в паспортах ОКН и заданиях на проведение работ по сохранению ОКН и представляющие собой субъективные текстовые разработки. Кроме того, отсутствие образцов дает специалистам неоправданную свободу в определении содержания предмета охраны ОКН, его объеме и достаточности.

Цель работы – создание образца (алгоритма) системы кратких текстовых и графических научных описаний ОКН, не позволяющей вносить в их облик произвольные изменения, которые могут привести к частичной или полной утрате объектами их историко-культурной ценности.

Авторами предлагается следующий алгоритм составления предмета охраны ОКН:

- 1) разработка порядка сбора информации;
- 2) разработка позиций предмета охраны;
- 3) сбор информации для каждой позиции предмета охраны;
- 4) формулирование предмета охраны.

Задачей исследования является унификация основных понятий, связанных с определением и фиксацией предмета охраны, а также регламентация правил определения и описания (фиксации) предмета охраны объектов культурного наследия на примере ОКН «Церковь Тихвинской Божьей Матери, 1774 год» (г. Йошкар-Ола).

Аналитическое моделирование. Материалы по обоснованию проекта предмета охраны ОКН формируются по результатам проведенных историко-культурных исследований, заключений государственных историко-культурных экспертиз, иных документов и материалов, позволяющих определить предмет охраны ОКН (аннотированной иконографии, историко-архитектурных опорных планов, графических ма-

териалов, исторических справок, материалов, содержащих информацию о ценности объекта с точки зрения истории, археологии, архитектуры, градостроительства, искусства, науки и техники, эстетики, этнологии или антропологии, социальной культуры) [4].

К источникам, содержащим информацию о ценности объекта, мы относим проекты реставрации, архивные документы текстового и изобразительного характера, научные публикации, фольклорные материалы, воспоминания старожилов. Последние две категории подлежат обязательному сравнительному анализу. Содержащиеся в них сведения, как правило, носят вольный, нередко художественно интерпретированный характер, поэтому должны коррелироваться с другими данными, в точности и надежности которых нет сомнений. Сравнительный анализ желательно проводить и для других видов источников. В случаях расхождения данных, полученных из разных источников (например, при датировках отдельных элементов, частей объекта), необходимо проводить дополнительные историографические и натурные исследования.

Для составления предмета охраны Тихвинской церкви были использованы материалы фондов Государственного архива Республики Марий Эл, в частности, фонда Ф-126 «Воскресенский собор г. Царевококшайска Царевококшайского уезда Казанской губернии» [5] (церковь была приписана к данному собору) и фонда Ф-165 «Царевококшайское духовное правление Казанской губернии» [6].

К косвенным источникам могут относиться информационные материалы, касающиеся той же эпохи, когда был построен или функционировал данный ОКН. Например, может представлять интерес указание на размеры кирпичей, употреблявшихся в строительстве в данной местности в конкретный период [8]. Для памятников деревянного зодчества могут быть полезны дендрохронологические таблицы, разработанные в отдельных регионах.

Отсутствие текстовых и изобразительных материалов может быть частично восполнено сравнением данного объекта с другими памятниками архитектуры, родственными объекту типологически и стилистически. Такое сопоставление позволяет выявить общие черты в композиционных и конструктивных решениях, декоративном оформлении разных памятников и обратить внимание на неповторимые, индивидуальные особенности исследуемого объекта, которые следует обязательно включать в предмет охраны.

Анализ архитектуры Тихвинской церкви позволил соотнести ее с другими, ранее построенными каменными храмами Йошкар-Олы (прежде – Царевококшайска). Зрительное уменьшение простенков четверика благодаря «кессонам», в которые утоплены крупные окна, четкая разлиновка фасадных плоскостей линиями декора сближают Тихвинскую церковь с Вознесенской. Кроме того, храм унаследовал местную традицию смещения колокольни от общей продольной оси объекта – она поставлена над боковым южным приделом. Особенным же является присутствие на фасадах и барочного, и классицистического декора. Причину такого стилистического наложения нужно искать в конструктивных особенностях храма. Из архивных документов следует, что здание церкви подвергалось перестройкам еще до середины XIX столетия. Так, в 1791 году был получен указ в «куртинской приделной церкви в место деревянных потолков кирпичные своды сделать» [6].

Деревянные потолки в каменном здании были характерной чертой эпохи классицизма, начавшего распространение в зодчестве Среднего Поволжья в последней чет-

верти XVIII века. Если в Тихвинской церкви, действительно, изначально были сделаны плоские перекрытия, это не могло не отразиться на внешнем виде здания. Рассмотрим один из фасадов храма, например, южный (рис. 1). Окна основного помещения расположены в два яруса. Между ними достаточно места на плоскости стены, чтобы завершить окна нижнего света разорванными фронтонами характерного барочного рисунка. Если бы над помещением был каменный свод, то стена здания заканчивалась бы выше (парапетный карниз) и позволяла бы разместить такие же фронтоны и над окнами верхнего света. Но, если помещение имеет плоское перекрытие, окна не могут подняться выше потолка; соответственно, на фасаде их верхний край будет упираться в карниз (рис. 2). Здесь уже невозможно разместить барочный фронтон, приходится ограничиваться более простым рисунком наличника, который напрашивается сделать в виде рамки. Зодчие Тихвинского храма под влиянием нового для того времени классицизма ввели в эти рамки замковые камни. Получилась необычная народная трактовка классических мотивов, не встречающаяся в других регионах России.



Рисунок 1 – Южный фасад Тихвинской церкви (г. Йошкар-Ола). Рис. Ю. А. Пенкина

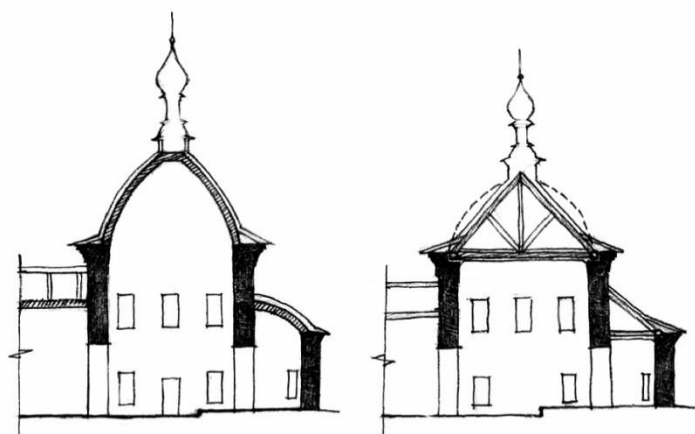


Рисунок 2 – Соотношение расположения проемов и перекрытий Тихвинской церкви при сводчатом (слева) и плоском (справа) вариантах перекрытия. Рис. Ю. А. Пенкина

Таким образом, проведенный авторами анализ реконструкции храма конца XVIII века позволил логически обосновать одну из индивидуальных особенностей, вклю-

ченную в предмет охраны. Для выявления других специфических деталей и архитектурных приемов церкви привлекались аналоги – памятники каменного зодчества царевкокшайской округи, относящиеся к той же эпохе (II половине XVIII века): келейный корпус Мироносицкой пустыни, дом Карелина, дом Елены Пчелиной, а также проводились аналогии с народным деревянным зодчеством.

Наибольший массив данных для составления предмета охраны дают натурные обследования. Методика таких обследований достаточно подробно изложена в специальной литературе [7, 9].

В настоящее время здание церкви Тихвинской иконы Божией Матери представляет собой сочетание различных объемов, которые по времени происхождения можно разделить на три категории:

- 1) существовавшие изначально;
- 2) появившиеся в результате реконструкций;
- 3) восстановленные в последнее время взамен утраченных в годы Советской власти.

Наличие разновременных объемов заставляет с особым вниманием отнестись к включению отдельных особенностей объекта в предмет его охраны.

В 1990-е годы по проектам Л. С. Васильева восстановлены верхние ярусы колокольни, сделан западный портал (паперть) [11]. К сожалению, не найдено исторических документов и фотоматериалов, подтверждающих достоверность воссозданных колокольни и паперти, и поэтому эти части памятника не являются «особенностями, составляющими предмет охраны», но могут быть включены в предмет охраны при его корректировке по результатам новых исследований.

Л. С. Васильеву принадлежат проект снятия культурного слоя в западной и южной частях территории храма и проект отвода поверхностных вод с данных территорий. В ходе этих работ зафиксировано надгробие воинам из Царевококшайска, участвовавшим в Отечественной войне 1812 года, которое составляет единое целое с данным ОКН. Здесь необходимо пояснить, что церковь Тихвинской иконы Божией Матери с момента своего возникновения существовала при городском кладбище Царевококшайска и не имела ни причта, ни прихода [5]. Кладбище было официально закрыто в 1926 году, территория использовалась сначала под древесный питомник, затем – как парк. Поэтому одной из особенностей Тихвинской церкви является ее расположение на территории парка культуры и отдыха им. 30-летия ВЛКСМ – природного комплекса, являющегося также ОКН. Культурный слой на сотни метров вокруг храма насыщен артефактами, относящимися к кладбищенскому периоду истории данной территории (особенно много их было поднято в ходе археологических раскопок 2012-2013 гг.). Наличие данной особенности напоминает, что предметно-пространственная среда, в которой находится любой ОКН, прямо или опосредованно влияет на формирование качеств объекта, подлежащих дальнейшему сохранению.

На основе вышеизложенного предлагается предмет охраны – особенности ОКН «Церковь Тихвинской Божьей Матери, 1774 г.», подлежащие обязательному сохранению:

- градостроительные характеристики ОКН, участвующего в формировании другого ОКН – «Парк 30-летия ВЛКСМ» города Йошкар-Олы, расположенного в границах улиц Комсомольская – Кремлевская – Первомайская – Пушкина;

- силуэтные характеристики ОКН с колокольней и куполом четверика, а также обзорные точки с запада и юга с дорожек и площадок на территории парка;

- пространственная и объемно-планировочная структура ОКН с притвором, трапезной, двусветным четвериком, алтарем, южным приделом с первым ярусом колокольни;
- подлинные кирпичные стены из глиняного обожженного кирпича местного производства;
- сводчатые перекрытия трапезной, четверика, алтаря, южного придела;
- композиция и архитектурно-художественное оформление фасадов: декор здания, в нижних наличниках которого присутствует отзвук нарышкинского барокко, а в верхних – необычная народная трактовка мотивов классицизма;
- система окон и дверей четверика, южного придела;
- штукатурка с побелкой;
- объемно-пространственное решение дворового пространства;
- отдельные архитектурно-художественные элементы интерьера, предметы декоративно-прикладного искусства, живописи, скульптуры, подлежащие воссозданию, а равно воссозданные Пользователем, составляют единое целое с ОКН;
- надгробный камень захоронений воинов из Царевококшайска, участвовавших в Отечественной войне 1812 года;
- культурный слой XVIII-XIX вв. в границах современного землепользования объекта.

Выводы

1. На примере Тихвинской церкви представлен алгоритм, который может быть использован в качестве методических рекомендаций для определения предмета охраны ОКН (памятников истории и архитектуры).
2. Данные рекомендации могут привлекаться к разработке и корректировке предметов охраны в рамках мониторинговых исследований ОКН, расположенных на территории России.
3. Методика определения предмета охраны ОКН может быть включена в учебную программу строительных вузов (в частности, Института строительства и архитектуры ПГТУ) для аналогов специальности «Основы реконструкции и реставрации».

Список литературы

1. Федеральный закон от 25.06.2002. № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации». URL: <https://base.garant.ru/>
2. «Порядок определения предмета охраны объекта культурного наследия, включенного в единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации в соответствии со статьей 64 Федерального закона от 25.06.2002 г. № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации», утвержденный приказом Минкультуры Российской Федерации от 13.01.2016. № 28. URL: <http://legalacts.ru/doc/prikaz-minkultury-rossii-ot-13012016-n-28/>
3. «Порядок утверждения особенностей объектов культурного наследия регионального значения, послуживших основанием для включения их в единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации и подлежащих обязательному сохранению», утвержденный приказом Мосгорнаследия от 21.10.2011. № 260. URL: <https://www.consultant.ru/online/>
4. «Методические указания по определению предмета охраны для объектов, предложенных к включению в реестр объектов культурного наследия, выявленных объектов культурного

наследия и объектов культурного наследия федерального и регионального значения (памятников истории и культуры)». Заказчик: Комитет по культурному наследию города Москвы (Москомнаследие), Исполнитель: ООО «ПФ-Градо». Москва, 2011 г. URL: <http://dkn.mos.ru/>

5. Государственный архив Республики Марий Эл. Ф-126. Оп. 1. Д. 77.

6. Государственный архив Республики Марий Эл. Ф-165. Оп. 1. Д. 49.

7. Киселев И. А. Архитектурные детали в русском зодчестве XVIII-XIX веков: справочник архитектора-реставратора. М., 2005.

8. Киселев И. А. Датировка кирпичных кладок XVI-XIX вв. по визуальным характеристикам. М.: Научно-реставрационная ассоциация «Росреставрация», 1990.

9. Барановский Е.Ю. Натурные исследования памятников архитектуры: методические рекомендации. М.: Спецпроектреставрация, 1993.

10. Об архитектурном наследии Костромского края. Гл. 3: Марий Эл. Кострома: Инфопресс, 2014.

11. Интернет-ресурс: mincult12.ru

ARCHITECTURAL PECULIARITIES OF TIKHVINSKAYA CHURCH IN YOSHKAR-OLA AS A SUBJECT OF PROTECTION OF CULTURAL HERITAGE OBJECT

Penkin Yuriy Afanasievich, Popov Vadim Alexeevich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The methodological principles for determining the protection of a subject (features) of an object of cultural heritage as an example of one of the objects of the city of Yoshkar-Ola - the Church of the Tikhvin Icon of the Mother of God (1774). Conducted historical research and art history, a monument to the survey, related to its restoration, we have allowed to develop the subject of protection of the object. However, the authors have attempted to determine the approximate method that can be used while developing the subject of protection for other objects of cultural heritage.

Keywords: object of cultural heritage, the passport, the subject of protection, the church, the algorithm.

УДК 630.378

ВИХРЕВАЯ МОДЕЛЬ ПЛОСКОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СТРУИ, ФОРМИРУЕМОЙ ПРИ СОПРЯЖЕНИИ БЬЕФОВ

Поздеев Анатолий Геннадиевич, Кузнецова Юлия Анатольевна

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
PozdeevAG@volgatech.net

Расчет устойчивости сооружений гидроузла связан с определением параметров гидравлического потока в нижнем бьефе при внезапном увеличении глубины. Расчет характеристик сложного струйного потока может быть выполнен на основе интегрального уравнения Кармана. Поток в нижнем бьефе гидроузла рассматривается в виде совокупности затопленного турбулентного струйного потока, вихревой области и основного течения в водоотводящем канале. Для интегрирования полученной системы уравнений использован прикладной пакет MathCad. Особенностью расчета, в отличие от модели Г. Н. Абрамовича [1], в которой граница струи полагалась линейной, является задание нелинейной границы в форме цепной линии, полученной на основе вихревой модели [4]. Выполнена оценка результатов расчета течения в

нижнем бьефе при использовании вихревой модели и установлена сходимость полученных результатов с известным решением М. А. Михалева [5]. Результаты работы могут быть использованы для расчета сопряжения бьефов гидроузлов.

Ключевые слова: гидроузел, свободная турбулентность, свободная граница струи, обратный уступ, нижний бьеф, турбулентная струя, вихревая граница, Mathcad.

Введение. При эксплуатации гидроузлов возникают проблемы, связанные с образованием воронки размыва в нижнем бьефе при значительных скоростях сбрасываемого потока. Размыв русла в нижнем бьефе приводит к возникновению чрезвычайных ситуаций при потере устойчивости гидротехнических сооружений [2]. Разработка оценки устойчивости гидроузлов осложняется недостаточной эффективностью автоматизированных расчетов процессов сопряжения бьефов гидротехнических сооружений, вызванной упрощением моделей сложных струйных течений [1, 5, 6].

Для решения задачи о распространении плоской гидравлической струи применяется модель вихревой границы, основанная на схеме катящихся вихрей. Установлено, что геометрическим местом центров равновесия вихрей, катящихся без скольжения по границе струи, является цепная линия.

Автоматизированные решения, реализованные в прикладной программной среде MathCad, сравниваются с результатами расчетов, полученными в монографии М. А. Михалева [5] и согласующимися с данными экспериментов и натурных измерений. В этой связи результаты М. А. Михалева для основной зоны сложного струйного течения на обратном уступе использованы в качестве тестовой модели для оценки адекватности результатов, получаемых при автоматизированном решении задач на основе модели вихревой границы струи для определения параметров потока в нижнем бьефе гидроузла [4].

При сопряжении бьефов низконапорных гидротехнических сооружений формируются затопленные струйные течения. Ограничение струи свободной поверхностью, дном и берегами водотока приводит к образованию сложных струйных течений [4, 5].

Согласно теоретической модели Г. Н. Абрамовича [1], которая использована М. А. Михалевым, границы плоского свободного затопленного струйного течения являются расходящимися прямыми, пересекающимися в его начальном сечении.

Особенностью турбулентного потока является подобие профилей скоростей во всех сечениях основного участка, что приводит к совпадению безразмерных скоростей в сходственных точках его сечений.

Цель работы – создание информационно-технологической методики расчета кинематических характеристик турбулентного потока в нижнем бьефе гидроузла на обратном уступе на основе применения вихревой границы струи при решении интегрального уравнения Т. фон Кармана.

Решаемые задачи: 1) формирование модели сложного струйного течения, возникающего на обратном уступе в водоотводящем канале нижнего бьефа; 2) решение интегрального уравнения Кармана для турбулентного струйного течения в среде MathCad в результате задания вихревой границы струи.

Математическое моделирование. Расчет сложных струйных течений, возникающих в ограниченном потоке, в связи с их неавтомодельностью, требует привлечения

численных методов. Однако для приближенного решения практических задач гидротехники могут быть использованы методы расчета с использованием интегральных уравнений [5]. При этом безразмерный профиль дефицита продольной составляющей осредненной скорости удовлетворяет формуле Г. Шлихтинга [1, 7]:

$$(u - u_n)/(u_0 - u_n) = \phi(\eta),$$

где u – скорость в струйном течении; u_0 – скорость в потоке верхнего бьефа; u_n – скорость в циркуляционной зоне; η – относительная координата, $\eta = (h - y)/b$; h – глубина; y – абсцисса точки течения; b – ширина струи.

Для начального участка струйного течения предыдущая зависимость приобретает вид

$$(u - u_n)/(u_0 - u_n) = 1 - \phi(\eta).$$

М. А. Михалевым [5] рассмотрен случай плоского струйного течения при внезапном увеличении глубины открытого спокойного потока в канале с горизонтальным дном.

Затем на основании метода осреднения О. Рейнольдса для центральных случайных моментов пульсационных компонентов гидромеханических переменных и перехода к уравнениям пограничного слоя выводится интегральное уравнение Кармана

$$\frac{d}{dx} \int_0^h u^2 dy - u_m \frac{d}{dx} \int_0^h u dy = -g \frac{dh}{dx} h - \frac{1}{\rho} \tau_c,$$

где τ_c – касательное напряжение на стенке.

При выводе этого уравнения учтены условие прилипания к стенке $u = v = 0$ при $y = 0$ и условие на свободной поверхности при $y = h$, согласно которому проекция скорости на нормаль к свободной поверхности совпадает со скоростью поверхности.

С учетом замены поперечной скорости потока с помощью уравнения несжимаемости вводится основное интегральное уравнение, использованное в работе [5]:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \int_0^y \frac{\partial u}{\partial x} du = -g \frac{dh}{dx} \pm 2l^2 \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}.$$

Приведем листинг решения интегрального уравнения по М. А. Михалеву и О. В. Яковлевскому [5] с распределением безразмерной скорости по Г. Шлихтингу [7] и законом турбулентного напряжения по первой формуле Л. Прандтля [1]:

Исходные данные

Относительная ордината струйного потока

$$\eta = \frac{h - y}{b}$$

Полуширина плоского струйного потока, м

$$b = h - y_2 = \alpha \cdot x$$

Глубина потока, м

$$h$$

Абсцисса точки в области струйного потока, м

$$x$$

Ордината точки в области струйного потока, м

$$y$$

Ордината границы струйного потока и водоворота, м

$$y_2$$

Коэффициент продольного расширения струйного потока

$$\alpha$$

Расчетные зависимости

Относительная скорость струйного потока по Г. Шлихтингу $\phi(\eta) = \frac{u(\eta) - u_H}{u_m - u_H}$ $\phi(\eta) := (1 - \eta^{1.5})^2$

Осевая скорость стуйного потока, м/с

u_m

Скорость в водоворотной зоне потока, м/с

u_H

Относительная скорость в водоворотной зоне потока

$m = \frac{u_H}{u_m}$

Скорость в спутном потоке, м/с

$$u(\eta) := u_m \cdot m + u_m \cdot (1 - m) \cdot \phi(\eta)$$

Постоянная Т. фон Кармана

κ

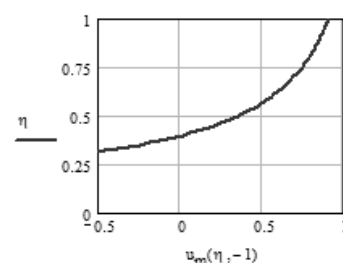
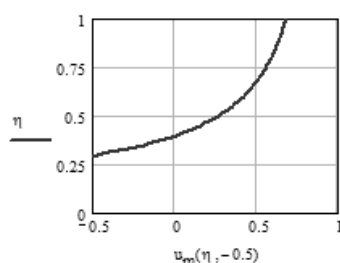
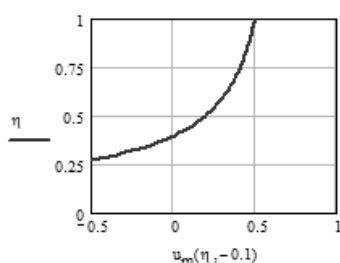
Решение интегрального уравнения Кармана

$$\text{Given} \quad -\alpha \cdot u(\eta) \cdot \frac{d}{d\eta} u(\eta) - \left[\alpha \cdot b \cdot \left(\frac{d}{d\eta} u(\eta) \right) \cdot \left(\frac{d}{d\eta} \int_0^1 u(\eta) d\eta \right) \right] = -2 \cdot \frac{\kappa^2}{\eta} \cdot \left(\frac{d}{d\eta} u(\eta) \right) \cdot \frac{d^2}{d\eta^2} u(\eta)$$

$$u(\eta, m) := \text{Find}(u(\eta)) \rightarrow -3 \cdot \kappa^2 \cdot u_m \cdot \frac{\left[-4 \cdot \eta^{\left(\frac{3}{2}\right)} + 1 + 4 \cdot m \cdot \eta^{\left(\frac{3}{2}\right)} - 1 \cdot m \right]}{\left[\alpha \cdot \eta^{\left(\frac{3}{2}\right)} \right]}$$

$$\eta := 0, 0.01..1 \quad b := 0.3 \quad \alpha := 0.3 \quad u_m := 1 \quad \kappa := 0.123 \quad h := 1$$

$$u_m(\eta, m) := -3 \cdot \kappa^2 \cdot u_m \cdot \frac{\left[-4 \cdot \eta^{\left(\frac{3}{2}\right)} + 1 + 4 \cdot m \cdot \eta^{\left(\frac{3}{2}\right)} - 1 \cdot m \right]}{\left[\alpha \cdot \eta^{\left(\frac{3}{2}\right)} \right]}$$

Результаты расчета

Уточним решение уравнения Кармана с вихревой границей и преобразованием координат для учета влияния возвратного течения в вихревой области:

Исходные данные

Глубина потока перед уступом, единица удельной длины

$h := 1$

Диапазон изменения длины струйного потока от плоскости уступа

$x := 0, 0.1..10$

Глубина уступа

$d := 0.2$

Безразмерная скорость в плоскости уступа

$u_0 := 1$

Безразмерная ордината продольной скорости струйного потока

$\eta := 0, 0.1..1$

Постоянная Кармана

$\kappa := 0.123$

Расчетные зависимости

Ширина струйного потока [2]

$b(x) := 0.03 \cdot x^{1.5}$

Зависимость продольной скорости потока в функции поперечной и продольной координат

$$u(\eta, x) := u_m(x) \cdot m + u_m(x) \cdot (1 - m) \cdot \phi(\eta)$$

Профиль дефицита продольной скорости

$$\phi(\eta) := \frac{1}{\cosh(\eta)^2}$$

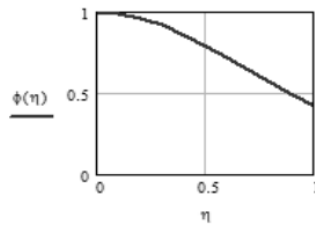
Аппликата струйного потока

$$y(x, \eta) := h - b(x) \cdot \eta$$

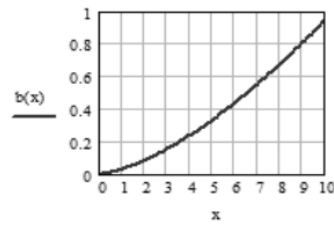
Зависимость осевой скорости потока в функции продольной координаты

$$u_m(x) := 5.934 \cdot \frac{u_0 \cdot (h - d)}{x}$$

Результаты расчета



Профиль дефицита продольной скорости



Ширина струйного потока

Решение интегрального уравнения Кармана

Given

$$-\alpha \cdot u(\eta, x) \cdot \frac{d}{d\eta} u(\eta, x) - \alpha \cdot b(x) \cdot \left(\frac{d}{d\eta} u(\eta, x) \right) \cdot \left(\frac{d}{d\eta} \int_0^{y(x, \eta)} u(\eta, x) d\eta \right) = -2 \cdot \frac{\kappa^2}{\eta} \cdot \left(\frac{d}{d\eta} u(\eta, x) \right) \cdot \frac{d^2}{d\eta^2} u(\eta, x)$$

$$u(\eta, m, x) := \text{Find}(u(\eta, x)) \text{ float}, 3$$

Относительное изменение осевой скорости

$$m := -0.01$$

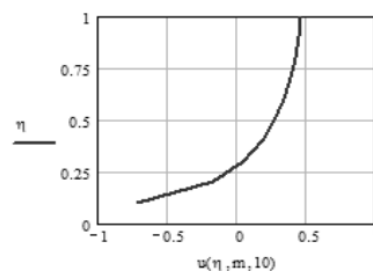
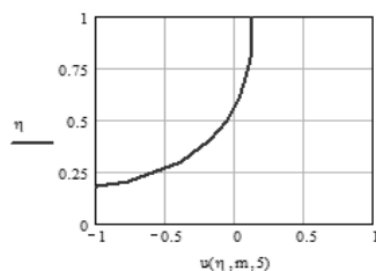
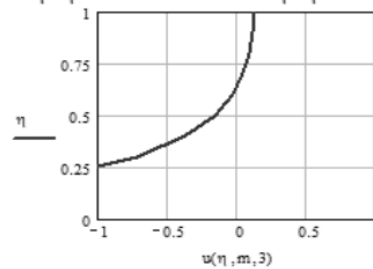
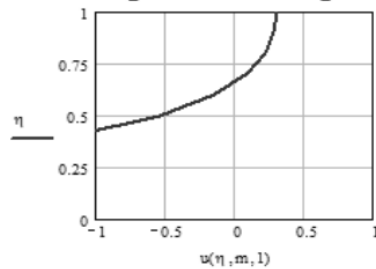
Параметр расширения струйного потока

$$\alpha := 0.3$$

Вывод функции продольной скорости в зависимости от условий задания

$$u(\eta, m, x) := -1.80 \cdot 10^{-5} \cdot u_m(x) \cdot \frac{-50. \cdot \alpha \cdot x^3 \cdot \eta \cdot m - 50. \cdot \alpha \cdot x^3 \cdot \eta \cdot \phi \left[1 - \frac{3}{100} \cdot x^{\left(\frac{3}{2} \right)} \cdot \eta \right]}{\alpha \cdot \eta} +$$

$$+ 50. \cdot \alpha \cdot x^3 \cdot \eta \cdot \phi \left[1 - \frac{3}{100} \cdot x^{\left(\frac{3}{2} \right)} \cdot \eta \right] \cdot m - 1.68 \cdot 10^3 \cdot \frac{d}{d\eta} \frac{d}{d\eta} \phi(\eta) + 1.68 \cdot 10^3 \cdot \frac{d}{d\eta} \frac{d}{d\eta} \phi(\eta) \cdot m$$



Выводы

1. В работе произведен расчет кинематических характеристик потока на уступе в нижнем бьефе гидроузла в автоматизированной прикладной среде MathCad при задании формы границы струйного течения на основе вихревой модели и зависимости, определяющей поперечный градиент продольной скорости потока. Особенностью расчета является задание нелинейной границы струи в форме цепной линии.
2. Область соединения струйного течения со свободной поверхностью и дном водотока, названная «третьей зоной», может быть рассчитана по модели Фолкнера-Скен [7].
3. Решения на основе модели Фолкнера-Скен реализованы в автоматизированной прикладной среде MathCad.
4. Получено решение интегрального уравнения Т. фон Кармана с градиентом скорости по Г. Шлихтингу и турбулентным напряжением по Л. Прандтлю.
5. Выполнено уточнение решения уравнения Т. фон Кармана с вихревой границей и преобразованием координат для учета влияния возвратного течения в вихревой области, в результате чего получено распределение продольной скорости в сечениях потока в зависимости от его длины.
6. Анализ результатов расчетов в прикладной программной среде MathCad и данных литературных источников показал соответствие получаемых решений тестовой модели М.А. Михалева для течения с водоворотной областью.
7. Результаты работы могут быть использованы для расчета сопряжения бьефов гидроузла.

Список литературы

1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика: в 2 ч. Ч. 1: Учебное руководство: для вузов. М.: Наука, 1991. 600 с.
2. Кузнецова Ю. А. Методика расчёта эколого-экономического риска эксплуатации гидротехнических сооружений // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Экономика и управление». 2014. № 1. С. 75-85.
3. Кузнецова Ю. А. Средства инженерно-экологической защиты нижних бьефов гидроузлов: монография. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2014. 260 с.
4. Kuznetsova J. A., Pozdeev A. G. Model of vortex boundary of plane laminar hydraulic jet // Life Science Journal. 2014. № 11(12). P. 513-531.
5. Михалев М. А. Гидравлический расчет потоков с водоворотом. Л.: Энергия, 1971. 184 с.
6. Совершенствование средств инженерно-экологического обустройства водохранилищ ГЭС / А. Г. Поздеев, И. А. Полянин, Е. М. Царев и др. // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия «Лес. Экология. Человек». 2011. № 1. С. 83-98.
7. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974. 712 с.

VORTEX MODEL OF PLANE HYDRAULIC JET FORMED DURING CONJUGATION OF RACES

Pozdeev Anatoly Gennadievich, Kuznetsova Yulia Anatolievna

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

Calculation of the stability of the hydrosystem structures is associated with determination of parameters of the hydraulic flow in the tailrace by a sudden increase in the depth. Calculation of the characteristics of the complex jet flow can be made on the basis of Karman's integral equation. The flow in the hydrosystem tailrace is considered as a set of a submerged turbulent jet flow, a vortex area, and a main stream in the drainage canal. To integrate the resulting system of equations, Mathcad application package is used. Peculiarity of the

calculation, in contrast to the model of G. N. Abramovich [1], in which the jet boundary was assumed as linear, is a non-linear boundary in the form of a catenary, obtained on the basis of the vortex model [3]. Results of the calculation of the flow in the tailrace are estimated when using the vortex model, and their convergence with the known solution of M. A. Mikhalev [4] is conformed. The results can be used to calculate the conjugation of the hydrosystem races.

Keywords: hydrosystem, free turbulence, free jet boundary, reverse ledge, tailrace, turbulent jet, vortex boundary, Mathcad.

УДК 624.012

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ АРМОБЕТОННОЙ БАЛКИ С КОМПОЗИТНЫМ АРМИРОВАНИЕМ НА ДЛИТЕЛЬНОЕ ДЕЙСТВИЕ НАГРУЗКИ

¹Поздеев Виктор Михайлович, ²Сабанцев Фёдор Анатольевич,
²Калинин Дмитрий Игоревич

¹ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

²ООО «Центр многофункционального каркасного строительства», г. Йошкар-Ола
kskio@volgatech.net

Представлены результаты испытания армобетонной балки, армированной базальтопластиковой арматурой, на длительное действие нагрузки. Опытный изгибаемый образец загружался сосредоточенными силами. После образования трещин в конструкции нагрузка фиксировалась и выдерживалась в течение одного года. Периодически измерялась величина прогиба балки. Был зафиксирован характер приращения прогибов, обусловленный ползучестью арматуры.

Ключевые слова: композитное армирование, испытание нагружением, длительная нагрузка, прогиб, динамика приращения прогиба, ползучесть арматуры.

Введение. К достоинствам композитной арматуры следует отнести высокую прочность на действие кратковременной нагрузки по сравнению с традиционной металлической арматурой. Однако при действии длительной нагрузки прочность неметаллической арматуры снижается вследствие особого строения композитов, составляющих арматурные стержни. Арматура композитная полимерная (АКП) – полимерный материал, состоящий из пучка нитей базальтовых, стеклопластиковых или других армирующих волокон, связанных склеивающим материалом. С течением времени в такой арматуре развиваются усталостные повреждения волокон, микротрещины в матрице, расслаивание, разрывы связующих волокон и т. д. Все это вызывает снижение начального предела прочности АКП весьма значительно.

Данная особенность отражена в зарубежных и российских нормах по проектированию бетонных конструкций, армированных полимеркомпозитной арматурой, в которых предлагаются коэффициенты снижения длительной прочности арматурных стержней [1, 2]. В зарубежных нормах также указывается на то, что композитные материалы обладают ползучестью. Данный компонент не учитывается в российских рекомендациях по проектированию конструкций с композитным армированием. Необходимо оценить влияние данного фактора на показатели второй группы предельных состояний.

Цель работы – экспериментальное исследование особенностей деформирования и прочности изгибаемых армобетонных элементов, армированных базальтопластиковой арматурой, при длительном действии нагрузки. План эксперимента предполагал годичный мониторинг опытной балки продолжительностью 1 год.

Решаемые задачи: 1) выявление характера развития прогибов и трещинообразования во времени при действии длительной нагрузки; 2) анализ особенностей разрушения опытной конструкции.

Аналитическое моделирование. Расчет прочности и деформативности опытной балки выполнялся по методикам норм проектирования [2]. Прочностные и деформативные характеристики материалов (бетона и базальтопластиковой арматуры) принимались по фактическим показателям.

Техника эксперимента. В качестве объекта экспериментального исследования принята бетонная балка сечением $140 \times 80(h)$ мм, длиной 1020 мм, армированная двумя стержнями диаметром 3 мм базальтопластиковой арматуры производства ООО «Гален» (г. Чебоксары). Поперечная арматура отсутствовала. Сечение балки подобрано из расчета обеспечения прочности по наклонным сечениям без поперечного армирования. Небольшой процент армирования 0,126 % ($\mu = 0,00126$) принят для обеспечения полного включения в работу композитной арматуры. Схема испытания представлена на рисунке 1. Общий вид испытательной установки показан на рисунке 2.

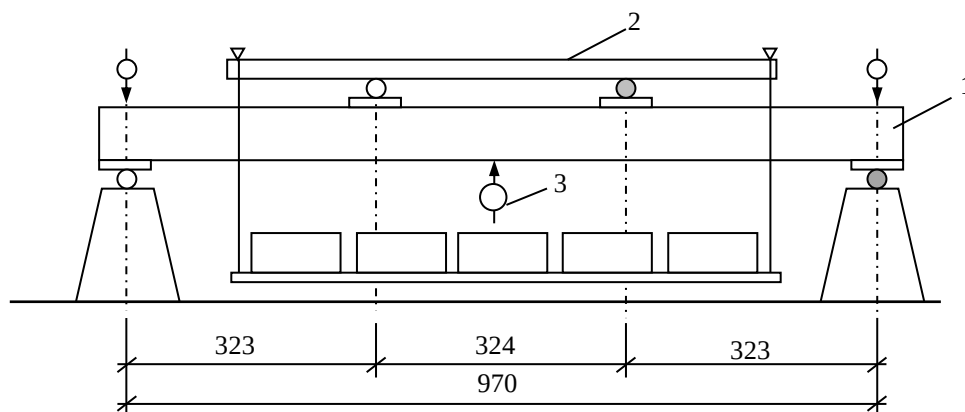


Рисунок 1 – Схема испытательной установки:

1 – опытная балка; 2 – силовая траверса с грузовым поддоном; 3 – индикатор ИЧ-50

Фактическая кубиковая прочность бетона балки составила 43,2 МПа. Временное сопротивление арматуры АКБ при разрыве 1174 МПа, модуль деформаций арматуры 45300 МПа.

Балка была нагружена сосредоточенными силами в третях пролета при помощи подвеса со штучными стандартными грузами по 20 кг (200 Н) со временем стабилизации нагрузки в 10-15 минут. Этап загрузки составлял 40 кгс (400 Н). На первой стадии испытания нагружение проводилось до уровня, соответствующего моменту образования нормальных трещин, то есть до нагрузки 320 кгс ($2F = 3200$ Н).

На первых четырех этапах загрузки до общей нагрузки 160 кгс ($2F = 1600$ Н) прирост прогиба составлял 0,145-0,19 мм. Далее до момента образования трещин прирост прогиба несколько увеличился до 0,28-0,36 мм на этапе. При нагрузке 320 кгс ($2F = 1600$ Н) перед образованием трещин был зафиксирован прогиб в центре пролета

3,05 мм. На данном этапе резко появилась нормальная трещина с раскрытием 0,15 мм, и прогиб увеличился в 2,7 раза до значения 7,44 мм. Данная нагрузка была зафиксирована, и в дальнейшем производилось наблюдение за увеличением ширины раскрытия трещин и приростом прогиба во времени.

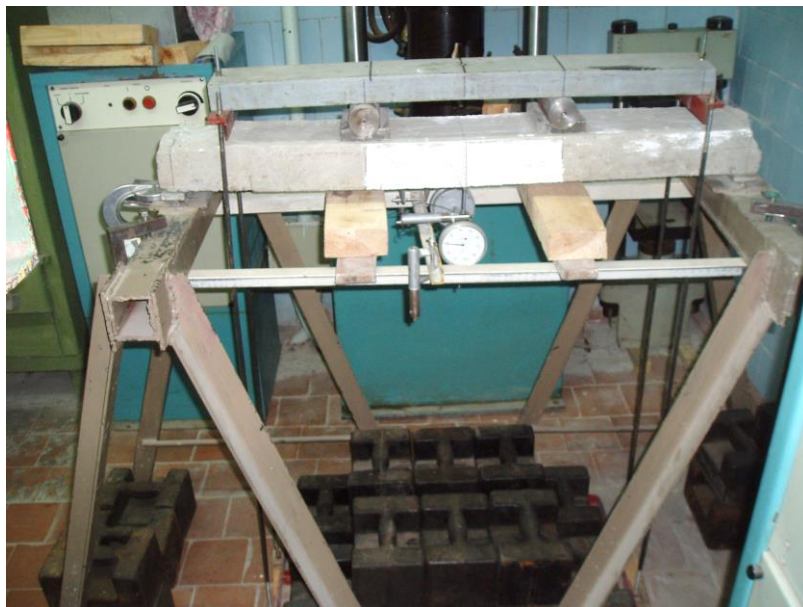


Рисунок 2 – Общий вид испытательной установки

За первые 6 дней прогиб прирастал достаточно интенсивно и достиг значения 8,54 мм. Далее при постоянной нагрузке величина приращения прогиба была стабильной, и через год его значение достигло увеличилось до 9,13 мм. То есть общий прирост за один год наблюдений составил 22,7 %. Величина прогиба не стабилизировалась. Далее было произведено догружение балки до разрушения. Общий график прогиба в середине пролета представлен на рисунке 3.

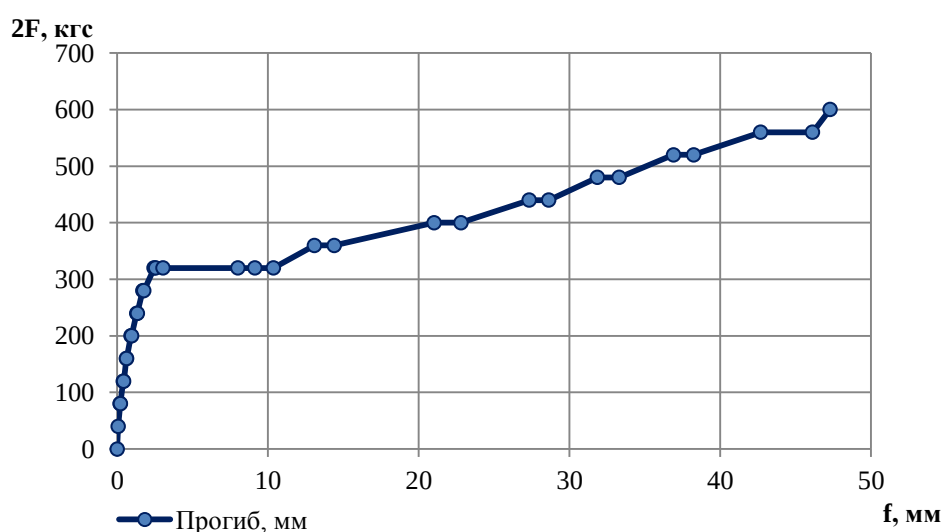


Рисунок 3 – Общий график зависимости «нагрузка – прогиб» испытанной балки

Разрушение опытного образца произошло при нагрузке 720 кгс ($2F = 7200$ Н). Общий вид разрушения балки показан на рисунке 4. Разрушение произошло от полной деструкции нижней части балки при значительных прогибах около 1/20 пролета, отслоения частей бетона от арматуры. При этом разрыва арматурных стержней и разрушения бетона сжатой зоны не зафиксировано.



Рисунок 4 – Разрушение испытанной балки

Анализ результатов. Выявлены некоторые особенности напряженно-деформированного состояния армобетонной балки, армированной базальтопластиковой арматурой.

Момент образования трещин при нагрузке 320 кгс ($2F = 3200$ Н) совпал с расчетным значением по [2]. Но характер трещинообразования отличался от процесса, свойственного для железобетонных образцов. В балках, армированных металлической арматурой, также наблюдается увеличение прогиба после образования трещин. Но раскрытие трещин начинается с величин менее 0,05 мм, и прирост деформаций составляет определенный процент от начального прогиба. В изгибаемых элементах, армированных композитной арматурой, трещины раскрываются резко на значительную величину (в данном испытании на 0,15 мм), и увеличение прогиба происходит интенсивнее (в данном испытании в 2,7 раза). Такое поведение связано с более низким значением модуля деформаций АКБ (55000 МПа) по сравнению с металлической арматурой (200000 МПа).

Годичный мониторинг вертикальных перемещений балки показал, что после образования трещин при нагрузке, составляющей около 50 % от разрушающей, прирост прогиба продолжался. Через один год прогиб увеличился на 23 %. Полученный результат подтверждает данные испытаний [3].

Но в проведенных испытаниях не зафиксирована стабилизация значения прогиба за контрольный срок наблюдений. Постоянный прирост деформаций при длительном нагружении связан с явлением ползучести композитной арматуры. У металлической арматуры ползучесть отсутствует.

При испытании балок на кратковременную нагрузку [4] увеличение прогиба, обусловленное ползучестью арматуры, может быть не зафиксировано. Испытания на

кратковременную нагрузку могут показать соответствие конструкции, армированной композитной арматурой, требованиям норм. Однако при эксплуатации конструкции с трещинами прогиб может быть больше расчетного за счет ползучести композитной арматуры.

Выводы

1. При испытании армобетонной балки, армированной базальтопластиковой арматурой, на длительное действие нагрузки выявлены характерные особенности трещинообразования в конструкции. Трещины образуются резко, имеют значительную ширину раскрытия. Прогиб балки при образовании трещин увеличился в 2,7 раза.

2. Годишний мониторинг за прогибами опытной балки под нагрузкой показал, что прогибы постоянно растут, и процесс увеличения деформаций не стабилизировался. Общий прирост прогиба при нагрузке равной 0,5 от разрушающей составил 22,7 % за год. Данное явление связано с деформативными свойствами композитной арматуры, обладающей ползучестью. Это необходимо учитывать при аналитическом определении прогибов конструкций.

3. Снижение прочности балки при действии нагрузки сроком один год не зафиксировано.

Список литературы

1. Brik V. B. Performance Evaluation of 3-D Basalt Fiber Reinforced Concrete & Basalt Rod Reinforced Concrete. Washington: Transportation Research Board, 1998.

2. Изменение №1 СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М.: Министерство регионального развития Российской Федерации: ФСЦ, 2014. 53 с.

3. Антаков А. Б., Антаков И. А. Экспериментальные исследования изгибаемых элементов с полимеркомпозитной арматурой при длительном приложении нагрузки // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы IX Всероссийской (III международной) конференции. Чебоксары: ЧГУ, 2016. С. 67-72.

4. Работа балок, армированных композитной стеклопластиковой арматурой / В. П. Селяев, А. А. Соловьев, Р. Н. Парамонов, М. Ф. Алимов, И. Н. Шабаетов // Региональная архитектура и строительство. 2013. № 3. С. 67-73.

TEST RESULTS OF THE ARMOBETON BULL WITH COMPOSITE REINFORCEMENT FOR A LONG-TERM LOAD ACTION

Pozdeev Victor Mikhailovich, Sabandsev Fedor Anatolyevich, Kalinin Dmitry Igorevich

Volga State University of Technology
LLC «CENTER MFB».

The results of testing the reinforced concrete beam reinforced with basalt plastic reinforcement for a long-term load action are presented. An experienced bent sample was loaded with concentrated forces. After the formation of cracks in the structure, the load was fixed and maintained for one year. The beam deflection was measured periodically. The nature of the increment of deflections due to the creep of the reinforcement was recorded.

Keywords: composite reinforcement, loading test, long load, deflection, dynamics of increment of deflection, creep of reinforcement.

УДК 625.8

СТАРЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА С ОТХОДАМИ ДРОБЛЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКОВ ПРИ ВЫДЕРЖИВАНИИ В ВОДЕ

¹Салихов Мухаммет Габдулхаевич, ²Иливанов Виктор Юрьевич,
¹Федоров Михаил Александрович

¹ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

²ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары
SalihovMG@volgatech.net

Приведены результаты экспериментального исследования влияния добавок кубовых остатков при производстве Новантокс 8ПФДА на процесс старения щебеночно-мастичных асфальтобетонов с отходами дробления известняков (ЩМА с ОДИ) путем испытания стандартных образцов после водонасыщения и длительного выдерживания в воде и сравнительного анализа их результатов при помощи коэффициента старения.

Ключевые слова: щебеночно-мастичные асфальтобетоны, отходы дробления известняков, выдерживание в воде, свойства, кубовые остатки 8ПФДА, коэффициент старения.

Введение. По ранее выполненным исследованиям известно [1-3], что одним из главных недостатков основного конструктивного материала для строительства покрытий и оснований дорожных одежд усовершенствованного типа – щебеночно-мастичных асфальтобетонов (ЩМА), т.е. искусственных бетонов с использованием органических вяжущих веществ, является их старение. Старение асфальтобетонов во времени – самопроизвольный непрерывный процесс под действием внешних и внутренних факторов, результатом которого является ухудшение всего комплекса физико-механических и эксплуатационных свойств материала. Уровень и темпы старения ЩМА, с одной стороны, характеризуют динамику этих процессов, т.е. динамику изменения комплекса качественных показателей, а с другой стороны, могут служить критерием оценки допустимого уровня их ухудшения, т.е. старения. С целью установления предельно допустимого уровня старения ЩМА с ОДИ выполнены специальные экспериментальные исследования, позволившие проверить поставленную рабочую гипотезу о возможности изучения процессов их старения путем водонасыщения и длительного выдерживания в воде. Установлено, что чем больше доступа воздуха и воды во внутреннюю структуру асфальтобетонов, чем выше температура в процессе приготовления и эксплуатации и чем интенсивнее действуют на материал подвижные нагрузки и напряжения, тем выше вероятность изменения их свойств. Фактическая работоспособность материала в конструктивном слое в рассматриваемом периоде обычно оценивается критическими значениями ключевых характеристик материала, перечень которых и значения обычно включаются в действующие нормативы. В настоящее время такими документами являются для асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов ГОСТ 9128-2013 [4], для щебеночно-мастичных асфальтобетонов – ГОСТ 31015-2002 [5] и т.д.

Цель работы – исследовать старение образцов щебеночно-мастичного асфальтобетона с отходами дробления известняков и с небольшими добавками кубовых остатков при производстве Новантокс 8ПФДА после длительного выдерживания в воде.

Постановка задачи. Выполненные ранее исследования показывают, что небольшие добавки отхода местной химической промышленности Чувашской Республики – кубовых остатков при производстве 8ПФДА в ЩМА с отходами дробления известняков (ОДИ) существенным образом могут повлиять на их свойства [6]. Однако до сих пор не было исследовано их влияние на процесс искусственного старения ЩМА с ОДИ путем стандартного водонасыщения и длительного выдерживания в воде (в течение 15 суток). Такой метод исследования ранее использовался некоторыми исследователями. В то же время в их работах не обосновывается, какие именно показатели свойств должны выступить наиболее существенными характеристиками для асфальтобетонных различного состава, какие ограничения должны быть по времени выдерживания в воде и т.д.

Кубовые остатки при производстве Новантокс 8ПФДА (или С-879) известны под названием N-2 этилгексил-N'-фенил-п-фенилендиамин ($C_{20}H_{28}N_2$). Они вырабатываются по ТУ 2492-465-05763441-2004, с изм. 1-2 и служат в качестве стабилизаторов при производстве дивинилового и бутадиенового каучуков, компаундов и резинотехнических изделий специального назначения и в качестве антиоксидантов.

Кубовые остатки 8ПФДА при их производстве при температурах ниже $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ представляют собой мазеобразный или жидкий водорастворимый продукт, а при больших температурах – вязкую маслянистую жидкость темно-коричневого цвета с зеленоватым оттенком. Имеют специфический запах. Хранятся в закрытых стальных барабанах и бочках. Токсикологический класс опасности – 3.

Согласно Санитарным правилам по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления СП 2.1.7.1386 от 30 июня 2003 г., асфальтобетонная смесь с добавкой до 3,0 % (от массы битума) кубовых остатков при производстве Новантокс 8ПФДА относятся к 4 классу опасности.

Методики подготовки и проведения опытов. Для исследований были сформованы стандартные цилиндрические образцы диаметром и высотой по 71,4 мм предложенных составов. Проектирование состава минеральной части ЩМА с частичной заменой дробленого песка, минерального порошка и стабилизирующей добавки проводилось при помощи предельных кривых плотных смесей. В качестве вяжущего использовался вязкий нефтяной битум БНД 90/130 с различным количеством кубовых остатков при производстве 8ПФДА.

Подобраны и исследованы следующие составы асфальтобетонных, % мас.: щебень М 1200 фр. 5-20 мм – 72,0; отходы дробления известняков фр. 0-15 мм 27,0; вяжущее в составе вязкого битума БНД 90/130 – 5,8 (сверх 100 % от массы минеральных составляющих) и кубовые остатки 8ПФДА – 0...2,5 (% от массы битума). Сформованные образцы далее подвергались испытаниям по стандартным методикам ГОСТ 12801-98 [7] и устанавливались значения ряда физико-механических показателей: предела прочности при сжатии при $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($R_{сж}^{+20^{\circ}\text{C}}$), предела при сжатии при $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($R_{сж}^{+50^{\circ}\text{C}}$) и водонасыщения ($W_{вод}$). С целью снятия влияния масштабного фактора на достоверность оценки степени старения асфальтобетонных при воздействии высоких температур обработка результатов и их оценка ведутся при помощи предложенной авторами методики – путем использования коэффициента старения [8]:

$$K_{ст} = \frac{\Pi_{ni}^{tb}}{\Pi_{ni}^{tb=0}}, \quad (1)$$

где Π_{ni}^{tb} – значение n-го физико-механического свойства образца органического бетона после стандартного водонасыщения и выдерживания в воде в течение времени t_b ; $\Pi_{ni}^{tb=0}$ – то же самое у неводонасыщенных образцов (т.е. $t_b = 0$).

Краткие результаты экспериментальных исследований и их анализ. Некоторые результаты выполненных испытаний асфальтобетонных образцов с различным количеством добавок кубовых остатков при производстве Новантокс 8ПФДА представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели физико-механических свойств образцов асфальтобетонов (АБ), сформованных из смесей после выдерживания в воде в течение $t_{\text{в}} = 0...15$ суток

№ п/п	t _в , сутки	R _{сж} ^{+20^{0С}} , МПа	R _{сж} ^{+50^{0С}} , МПа	W _{нас} , %	Примечание
1	2	3	4	5	6
ЩМА с ОДИ с содержанием модифицированного 0,5 % кубовыми остатками (от массы битума) битума – 5,8 % (от массы минеральной части)					
1	0	4,56	1,65	3,4	По ГОСТ 31015-2002 для ЩМА: R _{сж} ^{+20^{0С}} ≥ 2,20 МПа; R _{сж} ^{+50^{0С}} ≥ 0,65 МПа; W _{нас} = 1,0...4,0 %.
2	1	4,80	1,65	2,3	
3	5	4,60	1,60	2,9	
4	10	4,55	1,40	3,0	
5	15	4,50	1,30	3,1	
ЩМА с ОДИ с содержанием битума 7,5 % (без модифицирующей добавки)					
6	0	5,1	1,65	2,1	По ГОСТ 31015-2002 для ЩМА: R _{сж} ^{+20^{0С}} ≥ 2,20 МПа; R _{сж} ^{+50^{0С}} ≥ 0,65 МПа; W _{нас} = 1,0...4,0 %.
7	1	4,7	1,60	2,1	
8	5	4,3	1,45	3,4	
9	10	3,9	1,10	3,7	
10	15	3,8	0,70	4,0	

По экспериментальным результатам далее были рассчитаны значения коэффициента старения (табл. 2).

Таблица 2

Значения коэффициента старения после стандартного водонасыщения и выдерживания в воде в течение 0...15 суток

№ п/п	$t_{\text{в}}$, сутки	$K_{\text{ст}}$ по показателям		
		$R_{\text{сж}}^{+20^{\circ}\text{C}}$, МПа	$R_{\text{сж}}^{+50^{\circ}\text{C}}$, МПа	$W_{\text{нас}}$, %
1	2	3	4	5
ЩМА с ОДИ с содержанием модифицированного 0,5 % кубовыми остатками (от массы битума) битума 5,8 % (от массы минеральной части)				
1	0	1,00	1,00	1,00
2	1	1,05	1,00	1,00
3	5	1,01	0,97	0,85
4	10	1,00	0,85	0,88
5	15	0,99	0,79	1,10
ЩМА с ОДИ с содержанием битума 7,5 % (без модифицирующей добавки)				
6	0	1,00	1,00	1,00
7	1	0,92	0,96	1,00
8	5	0,84	0,88	0,62
9	10	0,76	0,67	0,57
10	15	0,74	0,43	0,53

Анализ приведенных в таблицах 1 и 2 данных показывает, что наиболее чувствительным к длительному выдерживанию в воде является предел прочности при сжатии при $+50^{\circ}\text{C}$.

Выводы

1. Экспериментально показано, что исследование образцов щебеночно-мастичных асфальтобетонов путем длительного выдерживания в воде после стандартного водонасыщения при помощи безразмерного параметра – коэффициента старения – является новым, относительно простым способом анализа процессов их старения во времени.

2. Выявленные кубовые остатки при производстве 8ПФДА вполне могут быть использованы в качестве добавки в асфальтобетоны с ОДИ, способствующей повышению сопротивляемости ЦМА с ОДИ старению и повышению их долговечности.

Список литературы

1. Таращанский Е. Г., Вильмсен И. И. Исследование старения асфальтобетона импульсным ультразвуковым методом // Повышение эффективности применения цементных и асфальтовых бетонов в Сибири: сб. 3. Омск: СиБАДИ, 1975. С. 40-61.
2. Скрипкин А. Д., Старков Г. Б., Колесник Д. А. Старение битума в технологическом процессе его подготовки для производства асфальтобетонных смесей // Сб. статей и докладов ежегодной научной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона. М.: МАДГТУ (МАДИ), 2010. С. 46-53.
3. Рыбьев И. А. Асфальтовые бетоны. М.: Высш. шк., 1969. С. 209-245.
4. ГОСТ 9128-2013. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2013. 18 с. (Введен в действие Пр. ФДА от 22.04.2010 № 62-ст.).
5. ГОСТ 31015-2003. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичный. Технические условия: принят межгосударственной НТК по стандартизации и сертификации в строительстве и ЖКХ Госстроя России 17.10.2002. М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. 22 с. (Введен в действие с 01.05.2003).
6. Салихов М. Г., Иливанов В. Ю. Исследование долговечности модифицированного щебеночно-мастичного асфальтобетона при действии агрессивной среды // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. № 2. С. 38-45.
7. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. Введен в действие Постановлением Госстроя России от 24.11.1998 г. № 16 с 01.01.1998 г. (взамен ГОСТ 12801-84). М.: ГУП ЦПП, 1999. 39 с.
8. Салихов М. Г., Иливанов В. Ю., Малянова Л. И. Предложение к изучению процессов старения органических бетонов при воздействии высоких температур // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. № 1. С. 59-65.

AGING OF MODIFIED ASPHALT AND CRUSHED AND MASTIC CONCRETE WITH WASTE OF CRUSHING OF LIMESTONES BY THE KEEPING IN THE WATER

¹Salichov Muchammet Gabdulhayevich, ²Ilivanov Victor Yurevich, ¹Fedorov Michael Alexandrovich

¹Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

²The Chuvash State University named after I. N. Ulyanov, Cheboksary

The results of experimental researches of the chfmence of vat remaining of the production of Novantocs 8PFDA on the process of aging of crushed – stone and mastic concretes with waste of crushing of linustons by testing of standart models after water safuration and long Standing in water and comparative analysis of results this testing by the coefficient of aging.

Keywords: crushed-stone and mastic concretes waste of crushing of limestones keeping the water, poperty, a vat remaing of 8PFDA, coefficient of aging.

УДК 624.078.41

ИСПЫТАНИЯ ШТЕПСЕЛЬНЫХ СТЫКОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН С ПЛИТАМИ ПЕРЕКРЫТИЯ ПРИ СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ ПРОДОЛЬНЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ

Трошков Евгений Олегович

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
troshkoveo@mail.ru

Проведенные исследования направлены на изучение напряженно-деформированного состояния (НДС) штепсельных стыков колонн с плитами перекрытия, применяемых в несущей системе «УИКСС-Татарстан», при совместном действии продольных и поперечных сил. В статье описываются основные результаты, полученные путем выполнения физических экспериментов над моделями изучаемых стыков. Полученные данные необходимы для разработки методик расчета их прочности и деформативности, что позволит обеспечить конструктивную безопасность и эксплуатационную пригодность зданий, возводимых с применением каркасов «УИКСС-Татарстан».

Ключевые слова: штепсельные стыки, безбалочные перекрытия, железобетонный каркас, стык плиты с колоннами, экспериментальные исследования.

Введение. Строительство каркасных зданий и сооружений с использованием сборных железобетонных конструкций находит широкое распространение на территории РФ. Перспективной несущей системой является каркас с безбалочными перекрытиями и штепсельными стыками элементов «УИКСС-Татарстан» [1, 2], применимый для нового строительства и реконструкции существующих зданий и сооружений [3, 4]. Его использование ведет к положительному экономическому эффекту, однако внедрение системы затруднено отсутствием норм и рекомендаций по расчету и конструированию штепсельных стыков плит с колоннами, от несущей способности и деформативности которых зависит состояние каркаса в целом.

В зависимости от расположения изучаемых стыков в пространстве каркаса в них могут возникать различные комбинации внутренних усилий. Ранее проведены исследования стыков при действии вертикальных нагрузок, приложенных со случайным эксцентриситетом и внецентренно [5, 6], а также при действии горизонтальных сдвигающих нагрузок [7]. Данная работа посвящена изучению напряженно-деформированного состояния (НДС) штепсельных при совместном действии продольных и поперечных сил с помощью экспериментальных исследований.

Цель работы – получение экспериментальных данных о прочности и деформативности штепсельных стыков сборных железобетонных плит перекрытия с колоннами при совместном действии продольных и поперечных сил для разработки методики расчета.

Решаемые задачи: 1) составление программы экспериментальных исследований; 2) определение значений разрушающей нагрузки и схемы разрушения образцов; 3) построение диаграмм зависимости деформативности стыков от действующей нагрузки; 4) получение данных о напряжениях в армировании образцов на основе тензометрии.

Компьютерное моделирование. Перед разработкой программы проведения экспериментальных исследований было выполнено компьютерное моделирование НДС стыков в программном комплексе ЛИРА-САПР 2013 с учетом физической нелинейно-

сти работы материалов и доведением моделей до разрушения. Выполненное моделирование позволило определить факторы, которые в наибольшей степени влияют на работу стыка. Сравнение результатов, полученных на моделях, имеющих размеры, соответствующие натурным, с геометрически подобными, созданными в масштабе 1:2, показало удовлетворительную сходимость. Таким образом, была доказана возможность выполнения физических экспериментов на моделях, обладающих критериями простого подобия, что позволило оптимизировать программу выполнения экспериментов и минимизировать трудовые и финансовые затраты.

Техника эксперимента. Экспериментальные исследования штепсельных стыков плит с колоннами на совместное действие продольных и поперечных сил проводились на моделях, которые изготавливались с учетом выполнения условий физического и геометрического (1:2) подобия натурным элементам каркаса. Сечение колонны составляло 210×210 мм, толщина плиты перекрытия – 80 мм.

Были испытаны две группы образцов при различных значениях вертикального сжимающего усилия. Образцы ОД-1 испытывались при вертикальном усилии 100 кН, ОД-2 – при усилии 200 кН. Разрушение стыков достигалось в процессе повышения горизонтального сдвигающего усилия, передающегося на плиту перекрытия. В каждой группе было испытано по три образца.

Для получения возможности одновременного нагружения образцов вертикальной и горизонтальной нагрузками была сконструирована и изготовлена специальная испытательная установка, при использовании которой вертикальное усилие создавалось с помощью гидравлического пресса П-125, в который устанавливался образец, а горизонтальная – гидравлическим домкратом ДГ-50. Установка также предусматривала возможность монтажа опор, препятствующих горизонтальным перемещениям образца.

Для контроля вертикальных деформаций на образцы были установлены мессуры на основе индикаторов ИЧ-10, контролирующие деформации колонн и растворных швов. Горизонтальные перемещения торцевых участков колонн также фиксировались индикаторами ИЧ-10 (рис. 1). Для получения информации о деформациях продольной арматуры колонн, расположенных в скважинах, заполненных раствором, а также хомутов из полосовой стали применялись тензорезисторы с базой 20 мм, подключенные к тензометрической станции, фиксирующей изменения относительных деформаций.

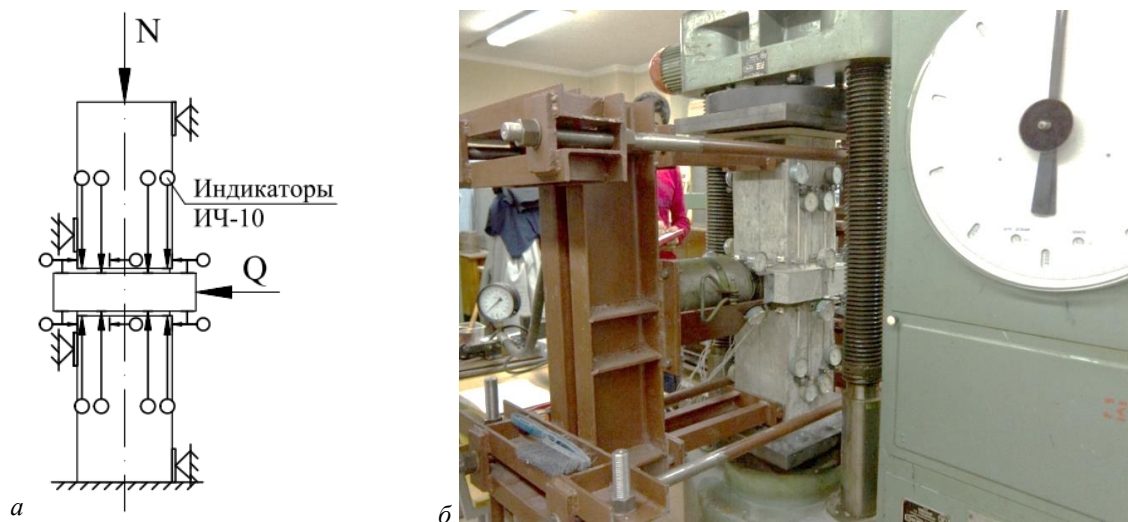


Рисунок 1 – Испытания совместные продольных и поперечных сил:
а – схема испытаний; б – проведение эксперимента

Нагрузка прикладывалась этапами по 10 % от контрольной разрушающей и выдерживалась по 15 минут. В процессе выдержки снимались показания индикаторов, тензорезисторов, контролировался процесс трещинообразования, выполнялась фото-съемка процесса испытания. После выдержки показания фиксировались вторично.

Перед проведением экспериментов определялись прочностные и деформативные характеристики материалов, составляющих конструкцию элементов стыка (раствора, бетона арматуры), в соответствии с действующими нормативными документами.

Анализ результатов. В образцах ОД-1 трещинообразование началось при нагрузке равной 48-52 % от разрушающей ($0,48Q_{ult}$ – $0,52Q_{ult}$) в зоне между растворными швами и бетоном колонн. Ширина их раскрытия не превысила 0,05 мм. Отрыв бетона торцевого участка нижней колонны наблюдался при достижении нагрузки $0,75Q_{ult}$, верхней – $0,9Q_{ult}$. При нагрузке $0,8Q_{ult}$ появились вертикальные трещины, пересекающие швы.

Разрушение происходило при достижении предела прочности торцевого участка нижней колонны и характеризовалось отрывом бетона под углом 38-50° к горизонту на высоту, равную пяти диаметрам продольного армирования, вертикальными трещинами в нижнем растворном шве и изгибом продольной арматуры, проходящей через зону отрыва бетона. Среднее значение разрушающей нагрузки составило 355 кН.

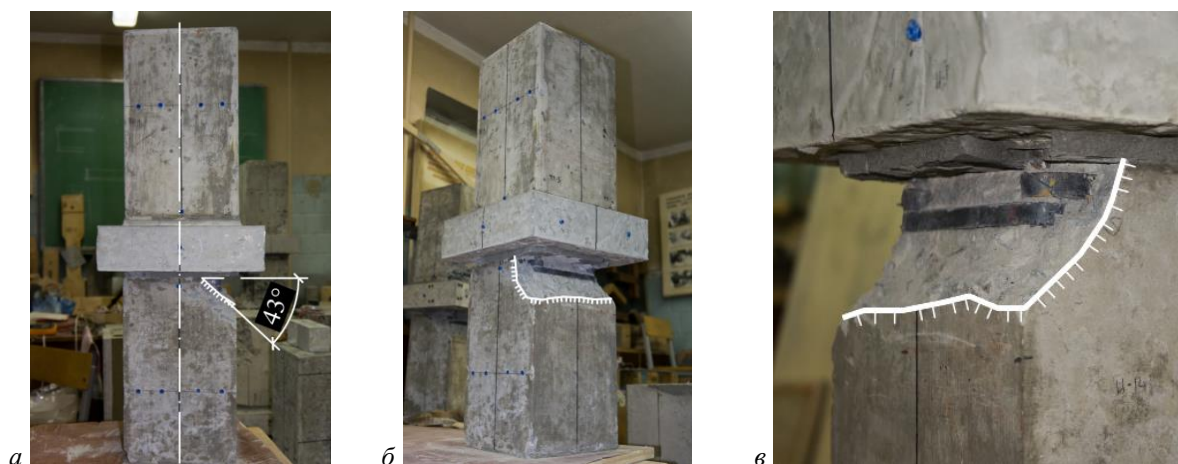


Рисунок 2 – Разрушенный образец ОД-1.2: а – вид сбоку, б – общий вид; в – зона отрыва бетона

Деформативность нижней колонны в трех проведенных испытаниях имела одинаковый характер и представлена на рисунке 3а. Перемещения торцевого участка верхней колонны не рассматривались, так как его разрушение не было достигнуто.

В колоннах были установлены хомуты из полосовой стали, увеличивающие общее сопротивление. С повышением горизонтального усилия в данных элементах нижней колонны нарастали растягивающие напряжения, достигшие предела текучести. В продольном армировании, расположенном в зоне отрыва бетона, был достигнут предел текучести стали при растяжении, противоположенные стержни испытывали сжатие (рис. 4а).

В образцах ОД-2 образование трещин началось при нагрузке $0,64Q_{ult}$ – $0,68Q_{ult}$ в зоне между растворными швами и бетоном колонн. Отрыв бетона торцевого участка нижней колонны наблюдался при достижении нагрузки $0,78Q_{ult}$ – $0,82Q_{ult}$, верхней – $0,86Q_{ult}$ – $0,9Q_{ult}$. Разрушение происходило аналогично образцам ОД-1 при достижении предела прочности торцевого участка нижней колонны, при этом угол наклона

зоны отрыва к горизонту составил 42–50°. Среднее значение разрушающей нагрузки достигло значения 420 кН.

Деформативность верхней колонны в данных экспериментах также не рассматривалась, а график «нагрузка – деформации» торцевого участка нижней колонны приобрел менее ломаную форму с более плавным переходом из линейной стадии в нелинейную (рис. 3б).

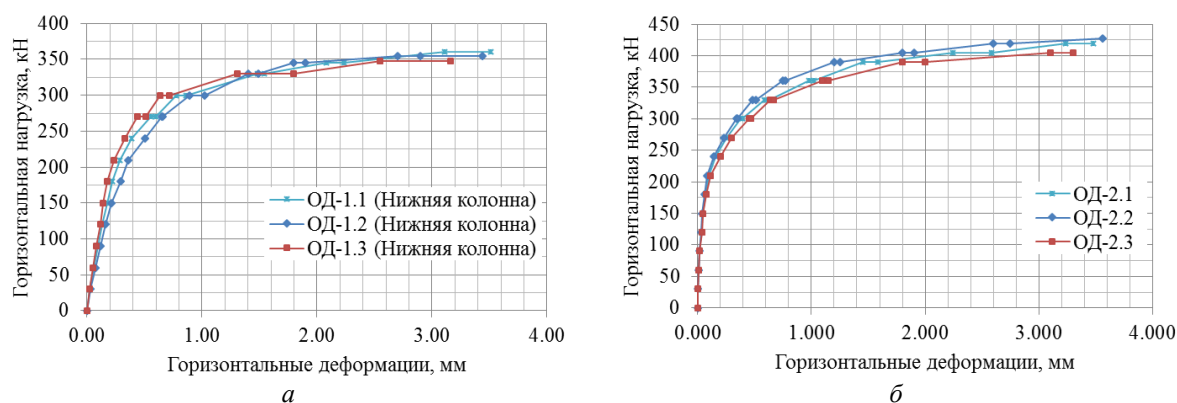


Рисунок 3 – Деформативность нижней колонны образцов: а – образцы ОД-1; б – образцы ОД-2

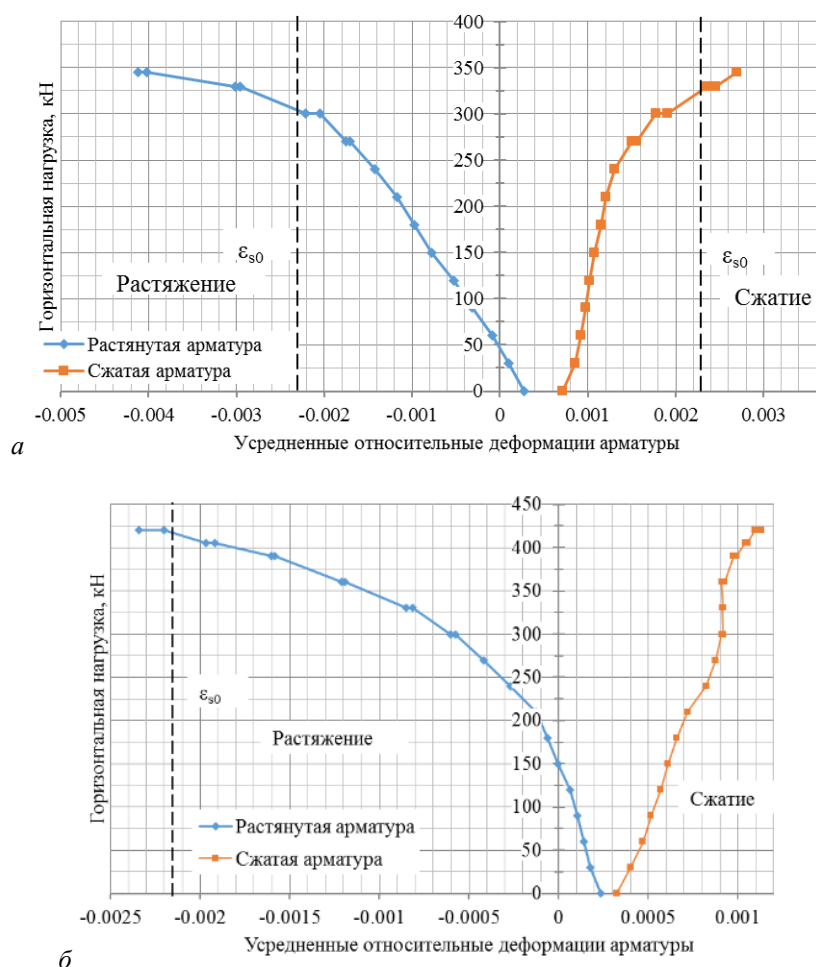


Рисунок 4 – Относительные деформации продольной арматуры: а – образцы ОД-1; б – образцы ОД-2

Хомуты из полосовой стали и продольная арматура элементов образцов ОД-2 работали по аналогии с экспериментами над первой группой образцов. В хомутах нижней колонны в продольном армировании (рис. 4б), расположенном в зоне отрыва бетона, были достигнуты пределы текучести стали.

Прочность стыка должна оцениваться раздельной проверкой несущей способности нижней и верхней колонн. При этом на прочность влияет сопротивление бетона колонны отрыву, стержней сеток косвенного армирования, хомутов из полосовой стали, продольного армирования, плоскости сдвига за счет сил трения контактного слоя «бетон–раствор». Данные, полученные экспериментально, необходимы для учета при составлении методики расчета.

Податливость конструкций может оцениваться на основе применения диаграммного метода. Диаграмма деформирования при сдвиге может быть описана тремя стадиями:

стадия I – упругая стадия, до появления трещин ($Q \leq (Q_1 = 0,55Q_{ult})$);

стадия II – стадия трещинообразования ($Q_1 \leq Q \leq (Q_2 = 0,85Q_{ult})$);

стадия III – разрушение, нелинейная стадия ($Q_2 \leq Q \leq (Q_3 = Q_{ult})$).

Выводы

1. Экспериментальные исследования штепсельных стыков плит с колоннами при совместном действии продольных и поперечных сил позволили определить влияние усилий вертикального обжатия на прочность и деформативность стыка при сдвиге.

2. Получены данные о геометрических размерах расчетных зон бетона и напряжения в армировании, необходимые для разработки методики расчета прочности исследуемого стыка при сдвиге.

3. Построены опытные диаграммы деформирования торцевых участков колонн, необходимые для создания методики определения деформативности стыков с применением диаграммного метода.

Список литературы

1. Соколов Б. С., Поздеев В. М., Трошков Е. О. Техничко-экономическое обоснование целесообразности использования нового решения узла сопряжения колонн с надколонной плитой в сборных железобетонных безбалочных перекрытиях // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 31(50), Ч. 2: Строительные науки. С. 58-61.

2. Пат. 141473 Российская Федерация, МПК E04B1/20 U1. Универсальная индустриальная каркасная система строительства – Татарстан (УИКСС–Татарстан) / Соколов Б. С.; заявитель и патентообладатель Соколов Б. С. – № 2013128714/03; заявл. 24.06.2013; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16. 2 с.

3. Соколов Б. С., Фабричная К. А. Применение каркасной системы УИКСС при реконструкции зданий // Вестник гражданских инженеров. СПб.: СПбГАСУ, 2015. № 6(53). С. 45-51.

4. Соколов Б. С., Антаков А. Б., Фабричная К. А. Проектирование детских дошкольных и школьных учреждений с использованием Универсальной индустриальной каркасной системы строительства (УИКСС) и крупноформатных керамических камней // Жилищное строительство. 2014. № 11. С. 7-9.

5. Трошков Е. О., Соколов Б. С., Поздеев В. М. экспериментальные исследования штепсельных стыков II типа на сжатие со случайным эксцентриситетом // Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия / под ред. А. Г. Тамразяна, Д. Г. Копаницы. М.: МГСУ, 2016. С. 394-398.

6. Трошков Е. О., Соколов Б. С. Испытание штепсельных стыков II типа на внецентренное сжатие // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции: материалы III Международной (IX Всероссийской) конференции. Чебоксары: ЧГУ, 2016. С. 151-157.

7. Трошков Е. О. Экспериментальные исследования штепсельных стыков второго типа на сдвиг // Долговечность, прочность и механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов: сб. докладов IX Академических чтений РААСН – Международной научной конференции. СПб.: СПбГАСУ, 2016. С. 85-90.

TESTS OF PLUG JOINTS BETWEEN SLAB AND COLUMNS UNDER THE ACTION OF LONGITUDINAL AND TRANSVERSE FORCES

Troshkov Evgeniy Olegovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The conducted researches are aimed at studying the stress-strain state under the action of longitudinal and transverse forces of the plug joints of columns with slabs used in the bearing system "UIKSS-Tatarstan". The paper describes the main results obtained by performing physical experiments on the models of joints. The obtained data are necessary for the development of methods for calculating their strength and deformation, which will allow to ensure the constructive safety and operational suitability of the buildings constructed with the use of the UIKSS-Tatarstan frameworks.

Keywords: *plug joints, flat plate floor system, reinforced concrete frame, joint plate with columns, experimental research.*

УДК 628.88

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НА ТЕМПЕРАТУРУ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ КОНВЕКТИВНОГО И КОНДУКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА

Хинканин Леонид Александрович, Хинканин Александр Павлович

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
HinkaninAP@volgatech.net

Представлены результаты исследования распределения температур на внутренней поверхности совмещенного покрытия многоквартирного жилого дома. В отличие от традиционных задач, учитывающих только кондуктивный теплоперенос, в данной постановке отражено влияние конвекции.

Ключевые слова: *температура воздуха, температура поверхности ограждающих конструкций, количество теплоты, конвекция, теплопроводность.*

Введение. Последние годы характеризуются внедрением в практику строительства разнообразных технических решений ограждающих конструкций зданий. Рассматривая проблему поддержания температур на их внутренних поверхностях, необходимо учесть влияние теплотехнических неоднородностей, находящихся в структуре ограждений. К таким неоднородностям в первую очередь относятся элементы с повышенной теплопроводностью, такие как металлические и железобетонные изделия, расположенные в среде с небольшой теплопроводностью. Наличие таких включений

существенно влияет на распределение температур на внутренней поверхности ограждающей оболочки.

Адекватная проектная оценка влияния этих теплотехнических неоднородностей на величину потерь теплоты ограждающей оболочкой здания остается весьма актуальной. Так, например [1], в ходе обследования из 115 многоквартирных жилых домов, построенных в Москве в последнее время, 95 % принятых в эксплуатацию объектов не соответствует нормативным требованиям. Установлено, что удельное энергопотребление зданий превышает заявленные в проектной документации значения в 1,5-2 раза. Причина столь значительных несоответствий кроется в том, что большинство проектных организаций продолжает проектировать ограждающие конструкции, используя методику, которая была отменена в 2012 году.

Новая методика требует оценивать теплотехнические качества ограждающей оболочки здания, проводя численное моделирование процессов теплопередачи с применением пакетов МКЭ. При этом на данном этапе нормы требуют проведения расчетов на стационарные условия. Совершенно новый вид задачи был решен в 2016 году. Застраивая вблизи Н. Новгорода одну из площадок трехэтажными многосекционными жилыми домами, проектная организация и застройщик столкнулись с явлением выпадения конденсата на участке проходки коаксиальной трубы сквозь покрытие.

Цель работы – исследование процессов массо- и теплопереноса в коаксиальной трубе и разработка на этой основе технического решения, обеспечивающего невыпадение конденсата на внутренних поверхностях ограждающих конструкций.

Решаемые задачи: 1) провести анализ принятого технического решения совмещенного покрытия и коаксиальной трубы и определить факторы, приводящие к появлению конденсата; 2) разработать технические решения, которые гарантированно недопускают появление конденсата, и подтвердить их работоспособность численным экспериментом.

Исходные данные. Разработка технических решений ограждающих конструкций, систем отопления и вентиляции, позволяющих повысить эффективность используемой тепловой энергии на поддержание комфортных параметров микроклимата в помещениях зданий, еще долгое время будут актуальны. Одним из определяющих факторов, влияющих на принятие решений в процессе проектирования здания, является стоимость его строительства. Известно, что платёжеспособность населения страны невысока. Чем дальше от столицы, тем весомее становится этот фактор как для проектных, строительных организаций, так и для конечного потребителя. Именно этим можно объяснить возврат к внедрению совмещенных покрытий при строительстве многоквартирных жилых домов в нашей климатической зоне. Еще одним характерным явлением последних лет стало строительство домов с поквартирным отоплением.

Названная группа жилых домов запроектирована с применением безбалочного каркаса. Слоистые самонесущие стены (газосиликатные блоки плотностью 500 кг/м^3 с утеплением минераловатными плитами плотностью 140 кг/м^3 и отделочным слоем из трехслойной минеральной штукатурки) опираются на бортовые балки монолитного перекрытия. На каждом этаже блок-секций располагается по четыре квартиры, отопление которых предусмотрено от газовых настенных котлов фирмы BaltGaz серии «NevaLux». Тепловая мощность применявшихся котлов равна $11 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ при температуре подаваемого в котел воздуха $+20^\circ \text{C}$. Дымоходы от котлов подключены к коллективной коаксиальной трубе на расстоянии 200 мм от потолка кухни. Конструктивно эта труба решена в виде шахты с внутренними размерами $300 \times 300 \text{ мм}$, выполненной в полнотелом керамическом кирпиче. Стенки шахты и вентиляционных каналов толщи-

ной 65 мм. Стальная труба дымохода имеет наружный диаметр 219 мм и толщину стенки 5 мм (по ГОСТ 10704).

Проектная организация предполагала, что приточный воздух, опускаясь по шахте трубы и омывая стальной дымоход, нагревается до таких значений, которые не допускают образования конденсата в кухнях на поверхности трубы и потолка вблизи нее. Таким образом, в конструкции совмещенного покрытия появились теплотехнические неоднородности, которые необходимо было учесть при проверке температур на внутренних поверхностях ограждающих конструкций в помещениях кухонь. На формирование температурных полей на трубе и примыкающем к ней участке потолка влияют как теплопроводности материалов покрытия и трубы, так и конвективный теплообмен приточного воздуха с коаксиальной трубой.

Живое сечение приточного канала, по которому воздух поступает к котлам, составило 523,32 см². В соответствии с проектными данными, от каждого котла в трубу по газоходам поступает 28,7 м³/ч продуктов сгорания с температурой 120 °С. Одновременно с этим каждый котел потребляет 14,5 м³/ч приточного воздуха. Таким образом, на верхнем обрезе коаксиальной трубы объем воздуха, поступающего к котлам, составляет 43,5 м³/ч, а скорость его движения – 0,231 м/с.

Расчетная температура воздуха окружающей среды принята равной –31 °С (температура воздуха наиболее холодной пятидневки района строительства). Температура воздуха в помещениях кухонь +19 °С при относительной влажности воздуха 65 %.

Численное моделирование. В ходе моделирования движения продуктов сгорания от котлов вверх по внутреннему каналу трубы и приточного воздуха к котлам вниз по внешнему каналу коаксиальной трубы была воссоздана картина массо- и теплообмена. В качестве расчетной математической модели течения газов в каналах коаксиальной трубы была принята модель течения Навье-Стокса с осреднением по Рейнольдсу в малом масштабе времени. Теплотехнические параметры газов (коэффициенты теплопередачи, интенсивности движения и масштаб турбулентности) принимались по справочным данным. Объемные расходы притока и отвода газа от котлов приняты из предположения, что все три котла находятся в номинальном рабочем режиме.

Продукты сгорания (это водяной пар, трехатомные газы CO₂, SO₂ и в небольшом количестве азот) на выходе из патрубка в общий канал дымохода имеют температуру +120 °С, влагосодержание 145 г/кг и энтальпию +520 кДж/кг. Поднимаясь вверх, дымовые газы отдают теплоту стальной стенке дымохода, которую омывает спускающийся вниз приточный воздух.

Приточный воздух с температурой –31 °С и относительной влажностью 85 % обладает влагосодержанием 0,36 г/м³ и энтальпией – 30,749 кДж/кг. Опускаясь по внешнему каналу, он нагревается, отбирая энергию как от стальной трубы дымохода, так и от внешней каменной стенки коаксиальной трубы.

Анализ результатов моделирования проектного решения показал, что отсутствие чердака, низкая температура приточного воздуха, малая протяженность участка трубы (2210 мм), на котором происходит теплообмен через стенку стальной трубы путем противотока «воздух/продукты сгорания» в коаксиальной трубе, не обеспечивают соблюдение санитарно-гигиенических норм. Температура на участке стыка кирпичного кожуха коаксиальной трубы с потолком кухни третьего этажа не поднимается выше +7 °С, а минимальное значение температуры на поверхности трубы равно +2 °С. Такие температуры гарантируют выпадение конденсата.

Следующий рассмотренный вариант отличался от проектного решения тем, что имел дополнительный слой утепления как по периметру коаксиальной трубы, так и

дополнительное утепление покрытия вокруг дымохода. Кроме этого предполагалась установка камеры смешения наружного воздуха с воздухом, удаляемым из кухонь. За счет этого температура воздуха, забираемого на верхнем обресе коаксиальной трубы для подачи в котлы, должна была повыситься до значений $-17,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Этот воздух, попадая в наружный контур коаксиальной трубы на участке в 110 мм от устья, остывает до значений $-24,82\text{ }^{\circ}\text{C}$. Причина дополнительного охлаждения воздуха заключается в теплообмене воздуха с охлажденным кирпичным кожухом трубы и малой толщине пограничного слоя на стальной трубе газохода (рис. 1). На представленной термограмме видно, что продукты сгорания, двигаясь по газоходу от котла и попадая в коаксиальную трубу, в большей степени нагревают стальную стенку трубы, противолежащую врезке газохода. Приточный воздух, опускаясь вдоль стальной трубы, находится в состоянии теплообмена со стальным нагретым газоходом и охлажденными кирпичными стенками. При этом перемещение воздуха по периметру стальной трубы практически не происходит. В результате к приточному отверстию в котел третьего этажа воздух подходит с отрицательными температурами. Таким образом, санитарно-гигиенические условия невыпадения конденсата на внутренних поверхностях стен помещения кухни не выполняются.

Следующие два рассмотренных варианта предполагали как дополнительное утепление трубы и покрытия вокруг нее, так и установку греющих кабелей мощностью 60 и 80 Вт. Кабели были проложены по стыку «труба/потолок» и вдоль трубы по ее середине со стороны притока наружного воздуха. Численный эксперимент показал, что кабели эффективно повышали температуру на поверхности трубы на расстоянии до 50 мм. В удалении от них сохранялись участки поверхности, которые имеют низкие температуры.

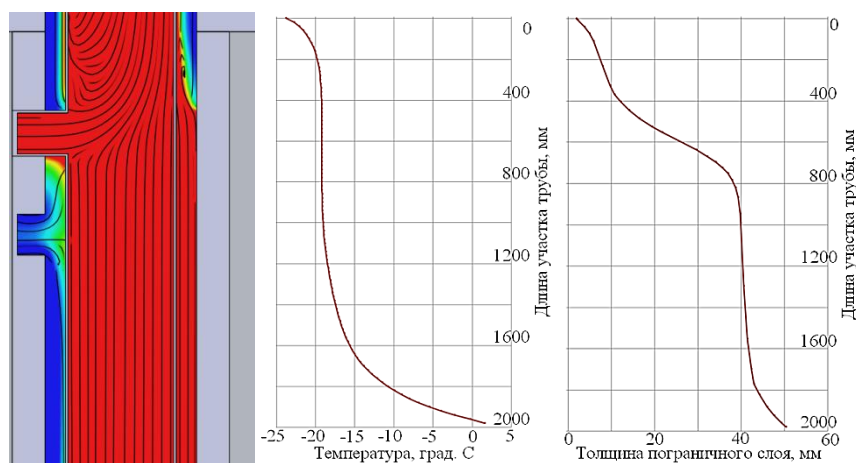


Рисунок 1 – Термограмма приточного воздуха и удаляемых продуктов сгорания (слева), изменение температуры кирпичной стенки трубы со стороны газохода (в центре), изменение толщины пограничного слоя вдоль стальной трубы (справа). За точку отсчета «0» принят верхний обрест трубы

Следующее техническое решение, рассмотренное в процессе вариантного проектирования, предполагало установку внутри трубы кассеты диафрагм с целью перемещения приточного воздуха вокруг газохода (рис. 2). Это конструктивное решение привело к повышению температуры приточного воздуха в котел 3-го этажа на $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (от $-31\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$) и обеспечило более равномерное распределение температур по периметру газохода. В то же время на боковых поверхностях трубы имеются неболь-

шие участки (до 40 см²), на которых температура опускается до значений ниже значе- ний температуры «точки росы» равной +12,27 °С.

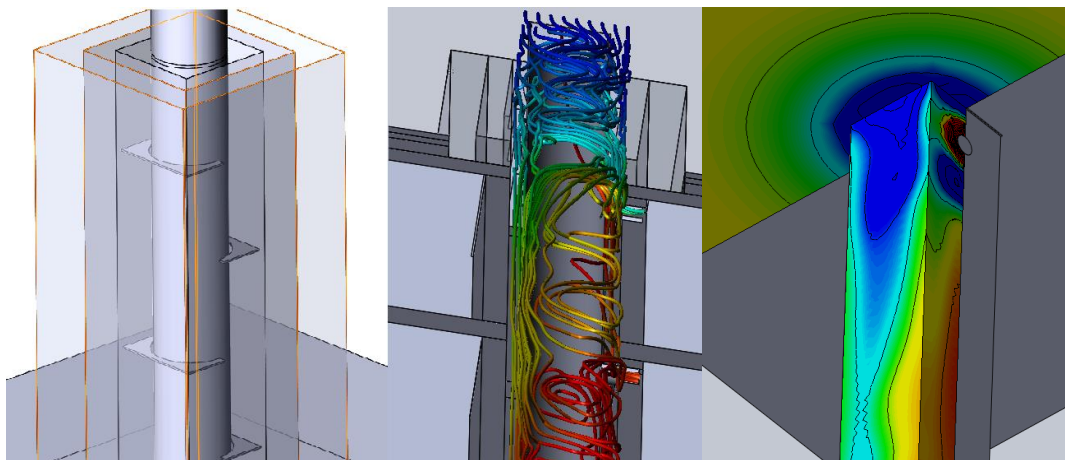


Рисунок 2 – Техническое решение кассеты диафрагм (слева), движения воздуха и повышение его температуры по каналу коаксиальной трубы третьего этажа (в центре и слева)

С точки зрения поиска наиболее эффективного решения повышения температуры на поверхности коаксиальной трубы было предложено отвести теплоту от перегретых участков к участкам с низкими температурами. С этой целью предложена установка алюминиевых фартуков. Эти фартуки, обладая высокой теплопроводностью, отводят теплоту к проблемным участкам трубы. Было проведено моделирование двух решений с фартуками высотой 600 и 1500 мм вокруг короба коаксиальной трубы.

Как показал численный эксперимент, температура поверхности алюминиевого фартука не опускается ниже +14 °С, а на каменной поверхности трубы температура не опускается ниже +13,15 °С (рис. 3). Таким образом, за счет перераспределения теплоты и подвода ее к охлажденным участкам оказалось возможным обеспечить санитарно-гигиенические требования и не допустить появления конденсата. Два разрыва на кривые распределения температур – это отверстия газохода от котла и отверстия притока наружного воздуха.

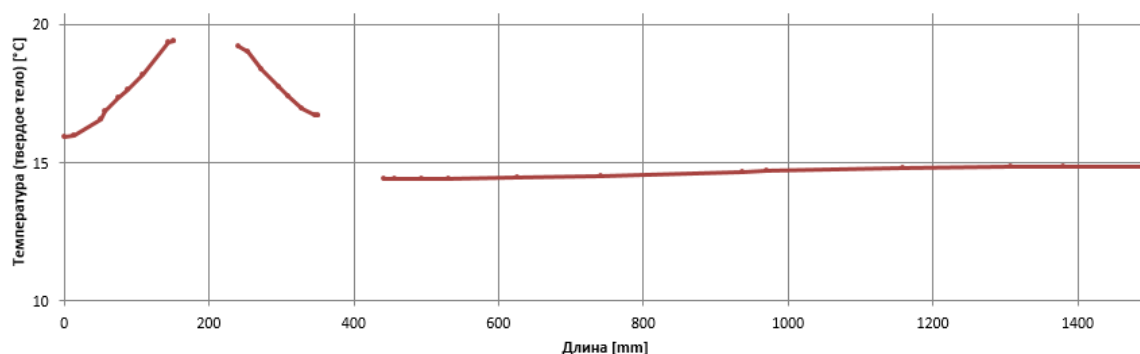


Рисунок 3 – Техническое решение кассеты диафрагм (слева), движения воздуха и повышение его температуры по каналу коаксиальной трубы третьего этажа (в центре и слева)

Выводы

1. Установка кассет в коаксиальную трубу значительно повышает турбулентность и, как следствие, температуру приточного воздуха. Однако бесчердачное покрытие

сокращает участок подогрева воздуха, подаваемого к котлу верхнего этажа, на 2-3 м. Вследствие этого на внутренних поверхностях ограждающих конструкций появляются участки, на которых возможна конденсация водяных паров.

2. Наиболее эффективным решением является перераспределение теплоты на поверхности трубы верхнего этажа за счет установки алюминиевого фартука.

Литература

1. Крышов С. И., Курилюк И. С. Проблемы экспертной оценки тепловой защиты зданий // Жилищное строительство. 2016. №7. С. 3-5.

THE IMPACT OF THERMAL INHOMOGENEITIES ON THE TEMPERATURE OF THE INTERNAL SURFACES OF ENCLOSING STRUCTURES IN CONVECTIVE AND CONDUCTIVE HEAT TRANSFER

Hinkanin Leonid Aleksandrovich, Hinkanin Alexander Pavlovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

Presents results of a study of the temperature distribution on the inner surface of the flat roof of an apartment building. Unlike traditional tasks, taking into account only conductive heat transfer, in the production reflected the influence of convection.

Keywords: *air temperature, surface temperature of enclosing structures, amount of heat, convection, thermal conductivity.*

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ. ИНЖЕНЕРИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 531.1:656.1

ФОРМА ОПАСНЫХ ЗОН ПРИ ДВИЖЕНИИ БЕСПИЛОТНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ПЛАТФОРМЫ

Андрианов Денис Юрьевич, Фищенко Петр Алексеевич

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
FishhenkoPA@volgatech.net

На основе использования методов математического моделирования и теоретической механики установлены формы и размеры опасных зон при движении беспилотной транспортной платформы со смещаемым центром тяжести. Это позволит безопасно получать максимально допустимую скорость, исключая боковое опрокидывание платформы во время движения, учитывая условие боковой устойчивости.

Ключевые слова: *максимально допустимая скорость, беспилотная транспортная платформа, условие боковой устойчивости, встреча с препятствием.*

Актуальность. В связи со значительными перспективами развития арктических и субарктических территорий стоит новая задача по разработке перспективных образцов транспортной техники и обеспечения их безопасной эксплуатации [1]. При решении задач социально-экономического развития этих территорий предлагается разработка новых технологий, включая создание беспилотной транспортной платформы со смещаемым центром тяжести [2]. Основные признаки действия данного технического решения в том, что беспилотная снегоходная платформа со смещаемым центром тяжести (рис. 1), несущая полезную нагрузку, содержит систему обеспечения устойчивости, представляющую собой несущее опорно-поворотное устройство, с возможностью смещения центра тяжести полезной нагрузки относительно оси транспортной платформы посредством кинематически связанных между собой приводных скошенных колец с возможностью их относительного поворота [3]. В настоящей работе установлено существование таких опасных зон при движении беспилотной транспортной платформы, заезд в которые может привести к серьёзным нежелательным последствиям.

Постановка проблемы. К одному из преимуществ данной беспилотной платформы можно отнести её *боковую устойчивость*, то есть способность платформы не падать, не заваливаться на бок во время погрузки, движения и разгрузки. Однако эту устойчивость надо обеспечить. Обеспечить, выполняя условие боковой устойчивости.

Кроме того, в процессе движения может встретиться препятствие, перед которым необходимо либо остановиться, не столкнувшись, либо принять меры к объезду, не задевая препятствие.

Цель работы – определение формы и размеров опасных зон, подлежащих исключению из области движения платформы. Это позволит безопасно получать максимально допустимую скорость, исключая боковое опрокидывание беспилотной транспортной платформы во время движения, учитывая условие боковой устойчивости [4]. В случае появления препятствия на прямолинейной траектории движения производится оценка возможности или остановиться, не сталкиваясь с препятствием, или «уклониться», поворачивая в сторону и не падая на бок.

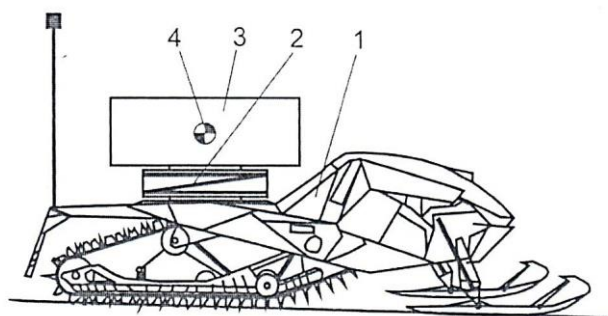


Рисунок 1 – Беспилотная снегоходная транспортная платформа: 1 – снегоход, 2 – основание с системой изменения положения центра тяжести; 3 – груз; 4 – система управления

Постановка задачи. Зная m – массу всей системы (то есть массу самой платформы вместе с массой груза), L – ширину опорной площадки, H – высоту расположения центра тяжести всей системы над опорной площадкой, f – коэффициент трения между платформой и поверхностью при торможении, получить условие для определения максимально допустимой скорости и найти форму двух опасных зон, где возможно опрокидывание платформы на бок или столкновение с препятствием.

Методология исследования. Для решения поставленной задачи применяются методы математического моделирования и теоретической механики.

Решение задачи (содержание работы). Пусть траекторией движения транспортной платформы является некоторая плоская кривая в горизонтальной плоскости. Для упрощения решения задачи рассматривается равномерное движение, то есть движение со скоростью, постоянной по модулю. Скорость есть величина векторная, то есть характеризуется и числом, и направлением. Так как модуль скорости остаётся постоянным, а направление скорости остаётся произвольным, то траектория остаётся криволинейной.

Всякую кривую можно раздробить на участки. Чем сильнее, больше дробим, тем больше участки похожи на дуги окружностей разных диаметров. Можно рассмотреть движение по одной из таких окружностей.

В работе рассматривается случай равномерного движения по окружности, то есть когда выполняются условия $|v| = \text{const}$ и $R = \text{const}$. Беспилотная транспортная платформа вместе с грузом моделируется как материальная точка, имеющая массу m и вес $P = mg$, где g – ускорение свободного падения.

При равномерном движении по окружности вращательное ускорение $a_{\text{вр}}$ (оно же касательное ускорение a_{τ}) определяется как производная от скорости по времени. Так как скорость движения постоянна по модулю, то вращательное (касательное) ускорение получается равным нулю.

Нормальное (перпендикулярное к траектории) ускорение при движении по окружности является центростремительным ускорением. Нормальное ускорение определяется по величине как отношение квадрата скорости к радиусу кривизны траектории в точке касания. При движении по окружности радиус кривизны траектории равен радиусу окружности. Следовательно,

$$a_y = a_n = \frac{v^2}{R}.$$

Полное ускорение является суммой векторов вращательного и центростремительного ускорений (рис. 2). Так как вращательное ускорение равно нулю, то полное ускорение совпадает с центростремительным, то есть

$$\bar{a} = \bar{a}_{ep} + \bar{a}_y = 0 + \bar{a}_y.$$

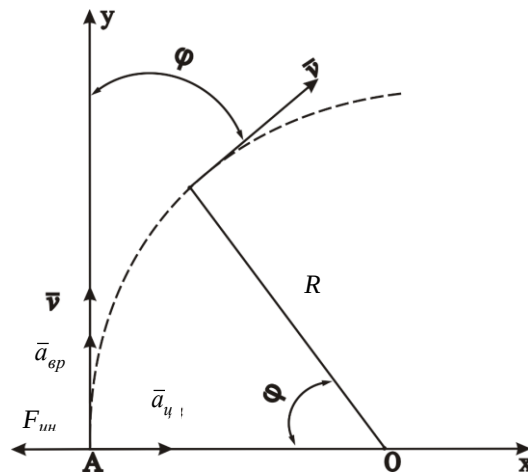


Рисунок 2 – Направления ускорений и сила инерции

Сила инерции, приложенная в центре масс всей системы (платформа вместе с грузом), по величине равна произведению массы системы на полное ускорение и направлена противоположно этому ускорению. Получаем

$$\begin{cases} \bar{F}_{ин} = -m\bar{a}, \\ F_{ин} = |\bar{F}_{ин}| = |-m\bar{a}| = ma = ma_y = m \frac{v^2}{R}. \end{cases}$$

Так как эта сила инерции направлена горизонтально на некоторой высоте H над горизонтальной опорной площадкой, то эта сила создаёт «опрокидывающий момент». «Опрокидывающий момент» стремится наклонить и опрокинуть платформу на бок вокруг прямой, проходящей по краю опорной площадки. Обычно эта прямая параллельна горизонтальной продольной оси движущейся платформы и параллельна скорости.

Известно, что момент силы равен произведению силы на плечо. Следовательно, модуль опрокидывающего момента равен $F_{ин} \cdot H = m \frac{v^2}{R} \cdot H$.

Моментом, который, наоборот, стремится удерживать движущуюся платформу в «нормальном» положении, прижать платформу к горизонтальной опорной площадке, является момент силы тяжести всей системы относительно прямой, проходящей по краю опорной площадки.

Считая платформу симметричной относительно продольной вертикальной плоскости, считая груз расположенным тоже симметрично относительно этой плоскости, можно показать, что центр тяжести такой системы (платформы с грузом) расположен в этой же срединной вертикальной плоскости.

Принимая ширину опорной площадки равной L , получаем плечо $L/2$. Поэтому модуль удерживающего момента равен $P \cdot \frac{L}{2} = mg \cdot \frac{L}{2}$.

Беспилотная транспортная платформа, движущаяся по горизонтальной поверхности, не упадёт на бок, если опрокидывающий момент не преодолеет удерживающего момента, то есть если выполняется *условие боковой устойчивости*:

$$m \frac{v^2}{R} \cdot H \leq P \cdot \frac{L}{2}. \quad (1)$$

Следовательно, скорость движения не должна превышать *максимально допустимую скорость*:

$$v \leq v_{\max} = \sqrt{\frac{gLR}{2H}}. \quad (2)$$

Например, условие (1) выполнится при увеличении максимально допустимой скорости на 10 % ($(1.1v)^2 = (121/100)v^2$) и одновременном увеличении ширины опорной L площадки на 21 % ($(121/100)L = 1,21L$).

Следует заметить, что при резких поворотах (при резком изменении направления движения), то есть при малых радиусах кривизны траектории, условие боковой устойчивости будет нарушаться и будет иметь место опрокидывание платформы на бок.

Так как минимально допустимый радиус кривизны траектории пропорционален квадрату скорости, то при увеличении скорости движения в 3 раза, например с 30 км/ч до 90 км/ч, минимально допустимый радиус поворота увеличивается в 9 раз. Следовательно, управлять уклонением платформы от препятствия надо существенно осторожнее уменьшая управляющие воздействия.

На рисунке 3 показан случай, когда радиус поворота больше половины ширины препятствия $R > B/2$.

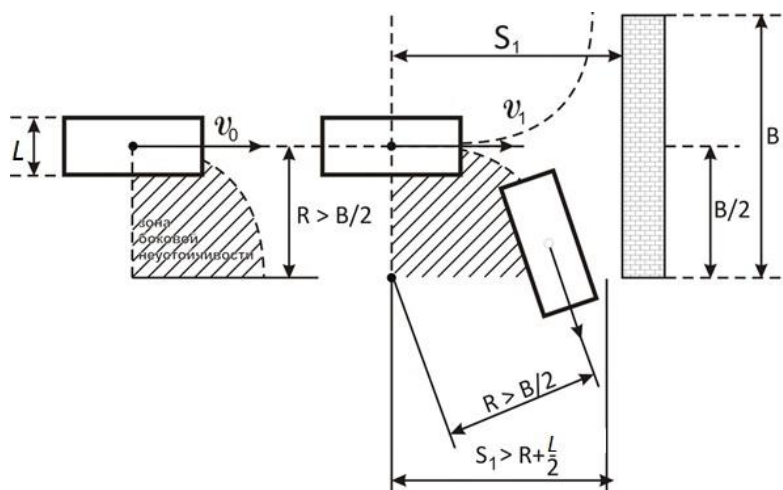


Рисунок 3 – Зона боковой неустойчивости

Таким образом, обнаружена *первая опасная зона* – зона боковой неустойчивости, в которую попадать нельзя, то есть нельзя резко поворачивать, нельзя создавать слиш-

ком малый радиус кривизны траектории, так как нарушится условие боковой устойчивости и платформа упадёт на бок (рис. 3).

Если допустить, что при движении платформы по прямой линии на пути следования платформы может встретиться препятствие шириной B , то уйти от столкновения с ним возможно не всегда.

Один способ уйти от столкновения – это продолжение движения, поворачивая – уклоняясь от препятствия, но не делая резкого поворота (не делая поворота с маленьким радиусом кривизны траектории), то есть не входя в зону боковой неустойчивости. Для этого, с одной стороны, надо «успеть увернуться», то есть в процессе уклонения радиус кривизны траектории должен быть больше полуширины препятствия, увеличенного на полуширину платформы (чтобы боком не задеть препятствие), то есть

$$R > (B/2) + (L/2). \quad (3)$$

В то же время, чтобы платформа не упала на бок при объезде препятствия, с соблюдением условия боковой устойчивости радиус кривизны траектории должен быть больше минимально допустимого радиуса кривизны траектории

$$R > R_{\min} = \frac{2v^2 H}{gL}. \quad (4)$$

Следовательно, «манёвр уклонения» выполнять ещё не поздно тогда, когда расстояние S_1 до препятствия ещё не маленькое и условия (3) и (4) выполняются одновременно. Попытка приблизиться к препятствию на расстояние меньшее, чем предельные расстояния, полученные в условиях (3) и (4), с последующей попыткой уклониться от препятствия приведёт к серьёзным нежелательным последствиям: либо к столкновению с препятствием, либо к опрокидыванию на бок платформы.

В «предельном случае», когда радиус кривизны траектории оказывается равным полуширине препятствия и расстояние до препятствия S_2 равно минимально допустимому радиусу кривизны траектории, увеличенному на половину ширины платформы (см. рис. 4), манёвр уклонения помогает уйти от столкновения, однако конечное направление движения становится перпендикулярным направлению движения, имевшегося в начале манёвра. Следовательно, такие сближения с препятствием могут привести к резкому увеличению длины маршрута по доставке груза и к нехватке топлива в конце пути.

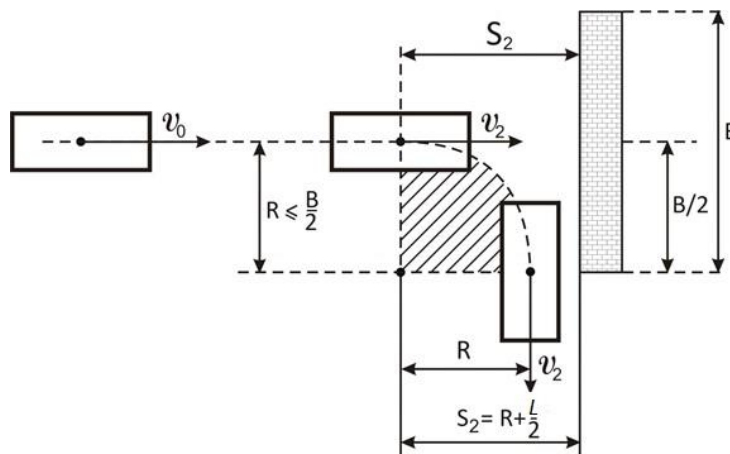


Рисунок 4 – Зона боковой неустойчивости

Другой способ уйти от столкновения – продолжить движение по прямой линии к препятствию, осуществляя торможение и останавливаясь перед препятствием. Для

этого скорость движения не должна быть слишком высокой, а оставшееся расстояние (S_1 или S_2) до препятствия должно быть не меньше, чем тормозной путь S_T . Найдём величину тормозного пути.

Пусть на участке торможения платформа, моделируемая материальной точкой, движется прямолинейно с начальной скоростью v_3 , уменьшает скорость движения под действием силы трения F_{TP} и останавливается (см. рис. 5). Поместим начало координат в точку О, где началось торможение. Тогда начальная координата равна нулю, а начальная скорость – v_3 .

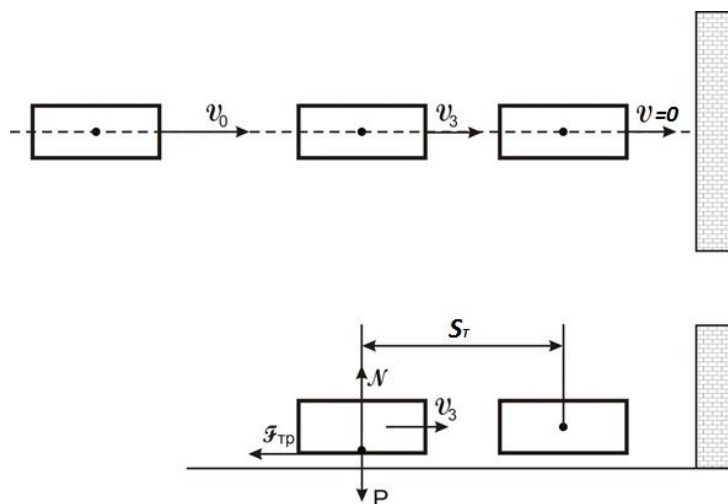


Рисунок 5 – Определение тормозного пути и линейного размера второй опасной зоны

Направляя ось координат в направлении прямолинейного движения, используем второй закон Ньютона и находим проекции сил на ось. Получаем

$$m\bar{a} = \bar{F}_{TP} + \bar{N} + \bar{P},$$

$$ma = -F_{TP} = -fN = -fmg,$$

где f – коэффициент трения, N – нормальная реакция, равная по модулю силе тяжести mg .

Учитывая, что ускорение равно первой производной по времени t от скорости, можно получить дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными, его проинтегрировать и найти константу интегрирования, используя начальное условие для скорости. Получится закон изменения скорости $v = v_3 - fgt$, из которого можно

найти время движения до остановки $t^* = \frac{v_3}{fg}$.

Учитывая, что ускорение равно первой производной по времени t от скорости, можно получить дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными, его проинтегрировать и найти константу интегрирования, используя начальное условие для скорости. Получится закон изменения скорости $v = v_3 - fgt$, из которого можно

найти время движения до остановки $t^* = \frac{v_3}{fg}$.

Учитывая, что скорость равна первой производной по времени от координаты, можно получить вновь дифференциальное уравнение, его проинтегрировать и найти константу интегрирования, используя начальное условие для координаты. Получится

закон движения $x = -fg \frac{t^2}{2} + v_3 t$. Подставляя в него время движения до остановки, получим тормозной путь

$$S_T = \frac{v^2}{2fg}. \quad (5)$$

При малых коэффициентах трения тормозной путь становится большим. Поэтому нежелательно попадание платформы на скользкие участки, так как возможны потеря управления платформой и столкновение с препятствием.

При увеличении скорости вдвое тормозной путь увеличивается в четыре раза.

Таким образом, обнаружена вторая опасная зона, у которой для повышения безопасности движения *линейный размер*, откладываемый от препятствия навстречу движущейся к нему платформе (противоположно оси координат Ox), должен *быть достаточным* не для одного, а для обоих манёвров (первый манёвр – это торможение и остановка, а второй манёвр – это уклонение от препятствия по радиусу кривизны не меньше минимально допустимого по условию боковой устойчивости (1)).

Выводы и практические рекомендации

1. При резких поворотах (при резком изменении направления движения), то есть при малых радиусах кривизны траектории, условие боковой устойчивости будет нарушаться и будет иметь место опрокидывание платформы на бок.

2. Для увеличения на 10 % максимально допустимой скорости движения, исключая опрокидывание платформы на бок (при сохранении высоты центра тяжести H всей системы и радиуса R кривизны траектории), надо ширину L опорной площадки увеличить на 21 %.

3. Скорость движения беспилотной платформы не должна превышать *максимально допустимую скорость, определяемую из условия боковой устойчивости*.

4. При движении беспилотной платформе нельзя попадать в первую опасную зону, где нарушается условие боковой устойчивости и появляется боковое опрокидывание.

5. При встрече с препятствием беспилотной платформе нежелательно попадание во вторую опасную зону, то есть нельзя попадать в зону перед препятствием, где нет возможности остановиться и уклониться от препятствия не опрокинувшись на бок.

Настоящая работа выполнена с учетом методики организации научно-исследовательской работы студентов и школьников [5, 6].

Список литературы

1. Андрианов Д. Ю. Перспективы создания современной техники для социально-экономического развития северных территорий // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России: материалы II Всероссийской студенческой конференции (Йошкар-Ола, 21-25 ноября 2016 г.): в 8 ч. Часть 1: Инжиниринговые технологии – взгляд в будущее современного производства. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2016. С. 6-8.

2. Беспилотная снегоходная транспортная платформа со смещаемым центром тяжести: патент на полезную модель № RU159557 / Кудрявцев И. А., Созонов А. Н., Дроздов Н. А., Кудрявцев А. И., Егоров А. В., Андрианов Ю. С., Андрианов Д. Ю. 2015.

3. Андрианов Д. Ю. Беспилотная транспортная платформа со смещаемым центром тяжести // Материалы Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2016» (МНТК «ИМТОМ - 2016»). Ч. 1. Казань, 2016. С. 248-251.

4. Андрианов Д. Ю., Фищенко П. А. Условие боковой устойчивости беспилотной транспортной платформы, движущейся по горизонтальной поверхности // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России: материалы II Всероссийской студенческой конференции (Йошкар-Ола, 21-25 ноября 2016 г.): в 8 ч. Часть 1: Инжиниринговые технологии – взгляд в будущее современного производства. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2016. С. 8-13.

5. Фищенко П. А. Некоторые методы научно-исследовательской работы школьников и студентов // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Социально-экономическая. 2015. № 3. С. 82-85.

6. Иванов В. А., Михеева Н. Н., Фищенко П. А. Методика организации научно-исследовательской работы студентов на кафедре высшей математики // Современные проблемы фундаментального образования в техническом вузе: сборник статей. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2014. С. 48-52.

FORM OF DANGEROUS ZONES AT THE MOVEMENT OF THE UNINTERRUPTABLE TRANSPORT PLATFORM

Andrianov Denis Yurievich, Fishchenko Petr Alekseevich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

Forms of dangerous zones are established when driving an unmanned transport platform with a shifted center of gravity.

Keywords: *maximum permissible speed, unmanned transport platform, side stability condition, encounter with an obstacle.*

УДК 627.882 + 532.522

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ВХОДНЫХ ОГОЛОВКОВ РЫБОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Введенский Олег Германович

*ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
VvedenskyOG@volgatech.net*

Рассмотрена проблема совершенствования конструкций входных оголовков рыбопропускных сооружений с помощью применения гидравлических струй. Дано теоретическое обоснование использования гидравлических струй для привлечения рыбы в рыбопропускное сооружение. Описана суть конструктивной модернизации входных оголовков рыбопропускных сооружений. Приведены краткие результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: *гидроузел, водохранилище, рыбопропускные сооружения, нерестовая миграция рыбы, естественное воспроизводство рыбы, природоохранные мероприятия.*

Введение. Рыбопропускные сооружения (РПС), как известно, предназначены для пропуска мигрирующих рыб к местам нереста и нагула через естественные или искусственные препятствия на пути их следования. РПС строят на естественных перепадах рек, в составе речных или морских гидроузлов, а также при рыбоводных хозяйствах. Различают два основных вида РПС: рыбоходы, в которых рыба перепад уровней воды

преодолевают самостоятельно, и рыбоподъемники, в которых перепад преодолевается путем принудительного перемещения рыб (шлюзования или транспортирования).

Вне зависимости от типа рыбоподъемные и рыбоходные сооружения должны обеспечивать выполнение ряда требований, важнейшие из которых следующие [1-3]:

- соответствие биологическим особенностям рыб;
- обеспечение оптимальных условий для привлечения к РПС необходимого количества рыб определенного вида и размера с максимально возможной акватории нижнего бьефа;
- создать условия для накопления и перемещения рыб по их трактам;
- обеспечить эффективные и безопасные условия для преодоления рыбами перепада уровней на сооружении;
- создать условия для выхода рыб из РПС и др.

Основным элементом рыбопропускного сооружения, отвечающим за обеспечение благоприятных условий для входа рыб в рыбопропускное сооружение и за привлечение их к нему как можно с большей акватории нижнего бьефа, является входной оголовок. Применяемые на сегодняшний день устройства входных оголовков РПС конструктивно обеспечивают (в плане и по высоте) сопряжения рыбонакопителя или рыбоходного тракта с руслом реки или дном водоема, а также осуществляют гидравлическое сопряжение спутного и привлекающего потоков. Это позволяет создать достаточно благоприятные гидравлические условия для входа мигрирующих рыб в РПС.

Однако на действующих рыбопропускных сооружениях ширина входного оголовка, как правило, принимается равной ширине рыбоходного тракта или ширине рыбонакопительного лотка. По этой причине скорость привлекающего потока на входе в РПС соответствует средней скорости потока в рыбоходном тракте, значение которой близко к крейсерской скорости. Данное обстоятельство не способствует формированию в зоне поисков мощных по площади течений, привлекающих рыб. Помимо этого конструкции входных оголовков на действующих РПС не позволяют управлять структурой течения в пределах входной части рыбопропускного сооружения. В свою очередь, структура и скорости привлекающего течения находятся в полной зависимости от колебаний бьефов гидроузла. Также с помощью применяемых конструкций входных оголовков невозможно эффективно привлекать рыб, обитающих в различных горизонтах водотока, или рыб различных видов [1-3]. Указанные выше недостатки входных оголовков существенным образом снижают эффективность работы всего рыбопропускного сооружения.

Цель работы – устранение основных недостатков конструкций входных оголовков РПС, а именно возможность регулировать течение в пределах входной части рыбопропускного сооружения, учитывая плавательную способность мигрирующих рыб, независимо от колебаний бьефов гидроузла.

Решаемая задача – совершенствование конструкций входных оголовков РПС на основе технологии использования гидравлических струй [2, 3].

Математическая модель предлагаемого технического решения и краткие результаты экспериментальных исследований. Применение гидравлических струй при работе входных оголовков РПС будет способствовать стабилизации гидравлических условий для успешного привлечения рыб в рыбопропускное сооружение. Суть данной технологии заключается в нейтрализации встречного течения во вливаемых отверстиях рыбопропускного сооружения гидравлическими струями [2-4]. Гидравлические струи, истекая из струеобразующих насадков, установленных по периметру

вплывного отверстия, выполненного в поперечной перегородке, образующей локальный перепад, и взаимодействуя между собой, образуют перед вливным отверстием со стороны верхнего бьефа зону «частично равных давлений». Зона «частично равных давлений» обеспечивает беспрепятственный пропуск мигрирующей рыбы через локальный перепад в сторону верхнего бьефа. Такой подход в использовании гидравлических струй позволит в одной входной разделительной стенке РПС выполнить несколько вливных отверстий различных размеров, расположенных на различной глубине водотока (рис. 1).

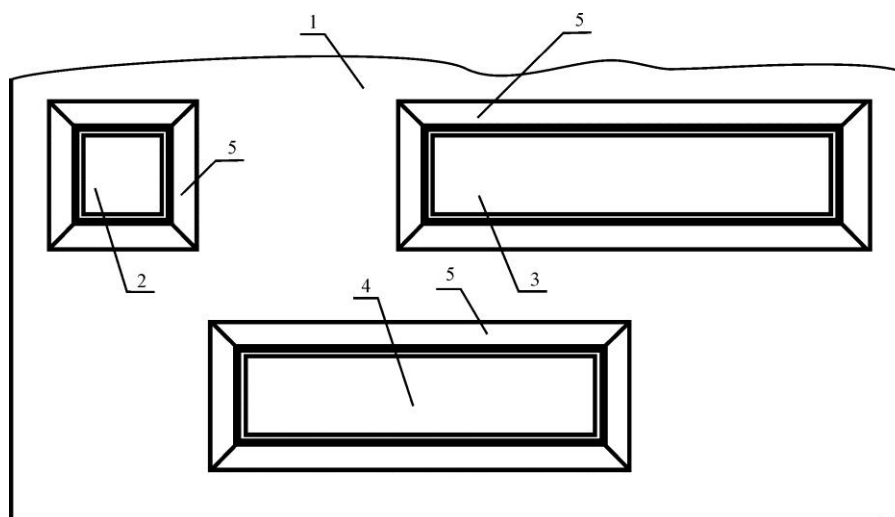


Рисунок 1 – Вид на входной оголовок со стороны нижнего бьефа:

1 – входная разделительная стенка (входной оголовок); 2 – вливное отверстие с привлекающим потоком на входе со скоростью $V_{ПРИВЛЕК1}$; 3 – вливное отверстие с привлекающим потоком на входе со скоростью $V_{ПРИВЛЕК2}$; 4 – вливное отверстие с привлекающим потоком на входе со скоростью $V_{ПРИВЛЕК3}$; 5 – выходная часть вливных отверстий

Кроме того, гидравлические струи позволяют создавать в данных вливных отверстиях различные гидравлические условия, соответствующие плавательной способности того вида рыб, которых привлекают в РПС через конкретное вливное отверстие в нужном слое водотока. Причем гидравлические условия во входной части РПС не будут зависеть от колебаний бьефов гидроузла [5-7].

Создание гидравлических условий, учитывая значения порогов реореакции и сносящих скоростей привлекаемых видов рыб, для эффективного привлечения в рыбопропускное сооружение рыб с разной плавательной способностью через различные вливные отверстия возможно благодаря одновременному формированию перед этими вливными отверстиями со стороны верхнего бьефа различных зон «частично равных давлений» (рис. 2). Здесь математическое условие образования «зоны частично равных давлений» записывается в следующем виде [1, 4, 5, 8, 9]:

$$V_{U0} = \sqrt{gH}, \quad (1)$$

где V_{U0} – начальная осевая скорость противотока, являющегося результатом взаимодействия гидравлических струй; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; H – величина напора на входной стенке входного оголовка РПС, м.

Саму начальную осевую скорость противотока V_{U0} , м/с , находят по формуле [4, 8, 9]:

$$V_{U0} = \varphi \frac{V_0 d_{0n}^{\frac{2}{3}} b_{\text{э}}^{\frac{1}{3}} n}{9,514(h_{\text{э}} - b_{\text{э}})}, \quad (2)$$

где φ – безразмерный коэффициент, определяемый опытным путем; V_0 – начальная скорость истечения гидравлических струй из струеобразующих насадков, м/с; d_{0n} – диаметр струеобразующих насадков, м; $b_{\text{э}}$ – расстояние между осями гидравлических струй, м; n – число гидравлических струй в ряду; $h_{\text{э}}$ – расстояние между плоскостями распространения гидравлических струй, м.

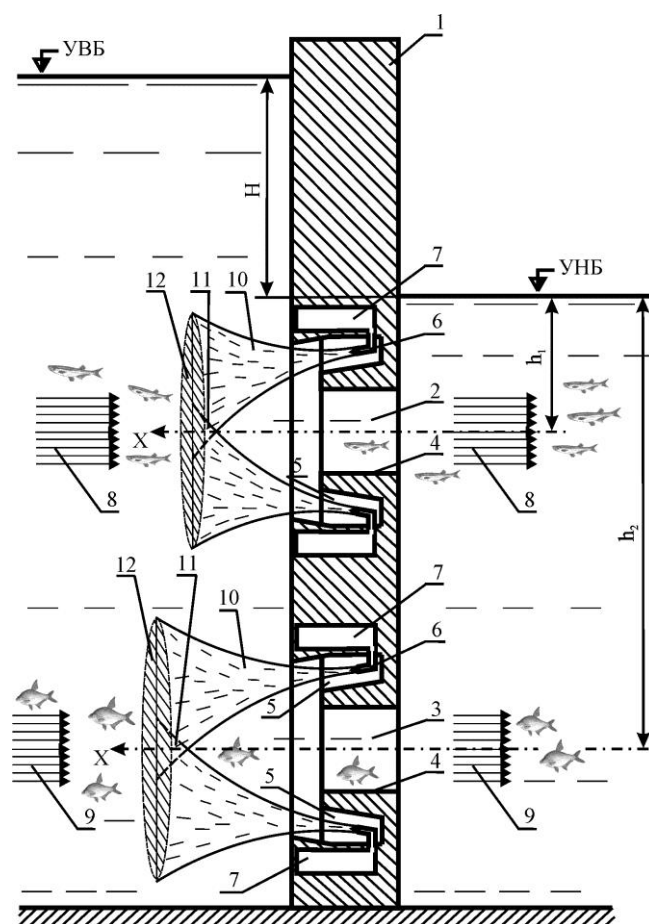


Рисунок 2 – Схема входной разделительной стенки (входного оголовка) на разрезе:
 1 – входная разделительная стенка (входной оголовка); 2 – влияющее отверстие верхнего яруса;
 3 – влияющее отверстие нижнего яруса; 4 – потокоформирующий фартук; 5 – галерея;
 6 – струеобразующие насадки; 7 – напорные коллекторы; 8 – привлекающий поток в верхнем слое водотока; 9 – привлекающий поток в нижнем слое водотока; 10 – гидравлические струи;
 11 – противоток; 12 – зона «частично равных давлений»; H – величина напора на входной стенке входного оголовка РПС; h_1 – величина затопления влияющего отверстия верхнего яруса;
 h_2 – величина затопления влияющего отверстия нижнего яруса

Величина безразмерного коэффициента φ зависит от множества факторов, основными из которых являются размеры влияющего отверстия и конфигурация расположения струеобразующих насадков. Как показывают экспериментальные исследования, значения безразмерного коэффициента φ в достаточной степени точности для решения большинства практических задач изменяются в диапазоне 0,001–4,00.

Для формирования привлекающего потока через вливное отверстие необходимо, чтобы напор противотока V_{U0}^2 / g был меньше напора H на входной стенке входного оголовка РПС на величину ΔH , называемую дополнительным напором. Величину дополнительного напора ΔH можно оценить из следующего выражения:

$$\Delta H = H - \frac{V_{U0}^2}{g}, \quad (3)$$

где H – величина напора на входной стенке входного оголовка РПС, м; V_{U0} – начальная осевая скорость противотока, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с².

Для математического обоснования величины средней скорости привлекающего потока на входе во вливное отверстие воспользуемся известным выражением для определения скорости истечения жидкости из отверстий [8]:

$$V_{\text{ПРИВЛЕК}} = \sqrt{2g\Delta H}. \quad (4)$$

Экспериментальные исследования, проведенные на лабораторной установке с масштаб моделирования $\lambda_L = 10$ [10], подтвердили наши предположения о влиянии значения дополнительного напора ΔH на среднюю величину привлекающей скорости $V_{\text{ПРИВЛЕК}}$ (рис. 3).

Как видно из графических кривых зависимости средней величины привлекающей скорости $V_{\text{ПРИВЛЕК}}$ от значения дополнительного напора ΔH в формулу (4) необходимо ввести поправочный безразмерный коэффициент ϕ_{Π} , который учитывал бы условия формирования гидравлическими струями противотока. С учетом данного обстоятельства, выражение (4) примет вид

$$V_{\text{ПРИВЛЕК}} = \phi_{\Pi} \sqrt{2g\Delta H}. \quad (5)$$

Как показали экспериментальные исследования, факторами, существенно влияющими на значение коэффициента ϕ_{Π} , оказались величина напора противотока V_{U0}^2 / g , расстояние между осями гидравлических струй $b_{\text{э}}$, а также диаметр струеобразующих насадков d_{0n} (рис. 3). В ходе проведения экспериментов установлено, что значение коэффициента ϕ_{Π} колеблется в пределах 0,3...0,7 в зависимости от перечисленных выше факторов и соответственно от размеров вливного отверстия. Влияние же величины затопления вливного отверстия h (см. рис. 2) на значение коэффициента ϕ_{Π} в ходе данных исследований не выявлено.

Объединив выражения (2), (3) и (5), получим следующее обобщенное соотношение для определения средней привлекающей скорости на входе во вливное отверстие, исходя из начальных условий формирования противотока, а также конфигурации расположения струеобразующих насадков по периметру вливного отверстия и его размеров:

$$V_{\text{ПРИВЛЕК}} = \phi_{\Pi} \sqrt{2gH - \phi' \frac{V_0^2 d_{0n}^{\frac{4}{3}} b_{\text{э}}^{\frac{2}{3}} n^2}{(h_{\text{э}} - b_{\text{э}})^2}}, \quad (6)$$

где ϕ_{Π} – поправочный безразмерный коэффициент, устанавливаемый опытным путем; ϕ' – расчетный коэффициент, зависящий от опытного коэффициента ϕ из выражения (2).

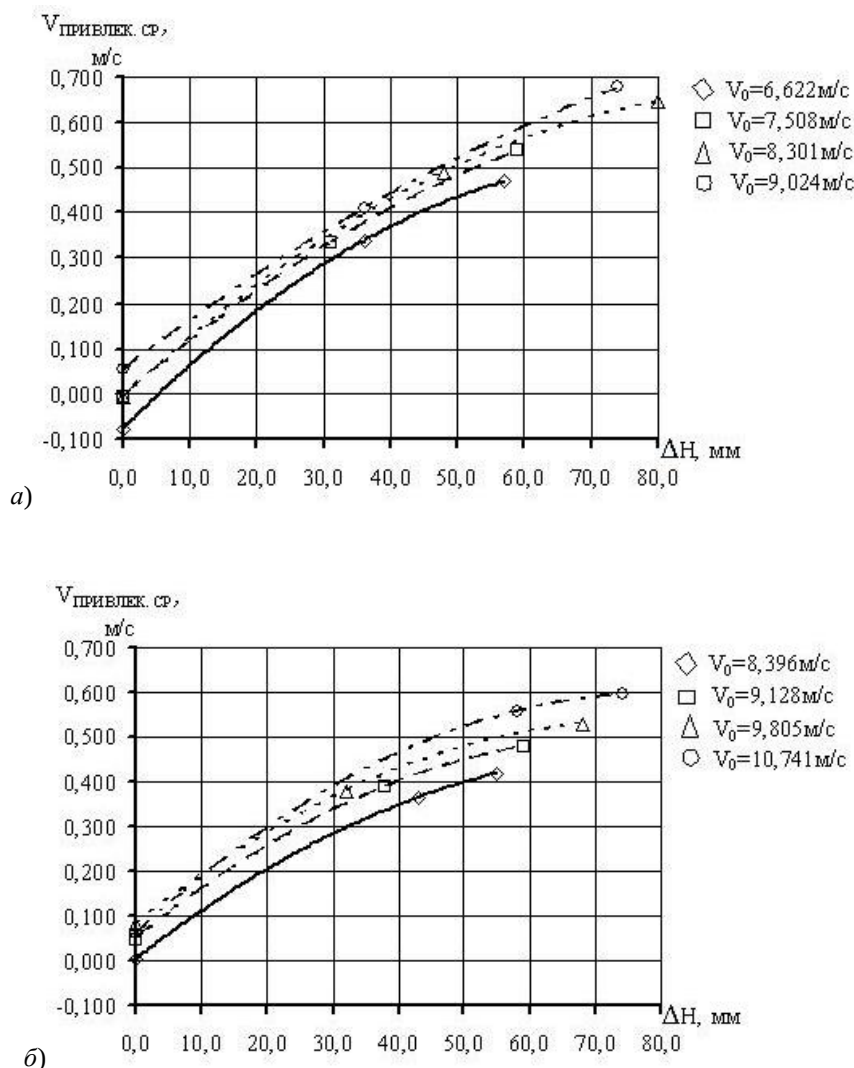


Рисунок 3 – Графические кривые зависимости средней величины привлекающей скорости $V_{\text{ПРИВЛЕК. СР.}}$ от значения дополнительного напора ΔH . Получено на гидравлической модели (масштаб $\lambda_L = 10$) с использованием струеобразующих насадок $d_{0n} = 10$ мм : а – расстояние между осями гидравлических струй $b_3 = 48$ мм, число гидравлических струй в ряду $n = 4$; б – расстояние между осями гидравлических струй $b_3 = 96$ мм, число гидравлических струй в ряду $n = 2$

Выводы. Предлагаемая технология использования гидравлических струй позволит проектировать входные оголовки РПС нового поколения [4-6]. В данных конструкциях оголовков особое место уделено вопросам конфигурирования входной разделительной стенки РПС с вливыми отверстиями, оснащенными струеобразующими насадками. Выбирая тот или иной вид входной разделительной стенки РПС, а также подбирая количество, форму и размеры вливых отверстий, мы сможем получать необходимое количество привлекающих потоков всевозможных размеров по площади и различной интенсивности в нижнем бьефе гидроузла, привлекая рыб определенного вида и размера с максимально возможной зоны нижнего бьефа. Кроме того, выполнение вливых отверстий поярусно (см. рис. 1, 2) привлечет в РПС как донных видов рыб, так и рыб, обитающих у поверхности водотока, что в свою очередь:

- во-первых, создаст условия на входе в рыбопропускное сооружение, соответствующие биологическим особенностям привлекаемых рыб;
- во-вторых, обеспечит возможность захода в рыбопропускное сооружение рыб различных видов и размеров;
- в-третьих, привлечет мигрантов,двигающихся в различных слоях водотока;
- в-четвёртых, полностью привяжет работу рыбопропускного сооружения к суточным и недельным колебаниям уровней бьефов гидроузла;
- в-пятых, сохранит естественность условий пропуска мигрантов.

Список литературы

1. Введенский О. Г. Организация миграционного цикла рыб в составе рыбоохранного комплекса гидроузла // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2014. № 4. С. 74-84.
2. Введенский О. Г. Водопропускное сооружение рыбоходно-нерестового канала // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Технологическая. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. Вып. 4. С. 137-142.
3. Введенский О. Г., Яровиков И. В. Рыбоохранные мероприятия в процессе создания и эксплуатации водохранилищ // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Технологическая. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. Вып. 4. С. 148-153.
4. Введенский О. Г. Конструкции рыбоходов с противотечением на основе экологической технологии использования гидравлических струй // Инженерная экология. 2010. № 3. С. 17-30.
5. Пат. 2363806 РФ, МПК⁸ E02B 8/08. Способ привлечения и пропуска рыб с разной плавательной способностью в рыбоход / О.Г. Введенский (РФ). № 2008107291/03; заявл. 26.02.2008; опубл. 10.08.2009, Бюл. № 22. 10 с.
6. Пат. 2363807 РФ, МПК⁸ E02B 8/08. Входной оголовок рыбохода (варианты) / О.Г. Введенский (РФ). № 2008108567/03; заявл. 04.03.2008; опубл. 10.08.2009, Бюл. № 22. 42 с.
7. Пат. 84866 РФ, МПК⁸ E02B 8/08. Рыбоход ПЭС / А.В. Иванов, О.Г. Введенский, В.Г. Гаврилов, И.В. Гудков, Б.Л. Историк, Г.Л. Мажбиц, С.Н. Савченков, И.Н. Усачев, Г.Г. Филиппов, В.П. Халаджиев, Ю.Б. Шполянский (РФ). № 2009107859/22; заявл. 05.03.2009; опубл. 20.07.2009, Бюл. № 20. 3 с.
8. Пат. 2179265 РФ, МПК⁷ F04F 5/02. Способ транспортировки жидкости с первого участка на второй, вышерасположенный участок / О.Г. Введенский (РФ). № 2000110254/06; заявл. 20.04.2000; опубл. 10.02.2002, Бюл. № 4. 3 с.
9. Пат. 2406801 РФ, МПК⁸ E02B 8/08. Способ пропуска молоди рыб через гидроузел при покатной миграции / О.Г. Введенский (РФ). № 2009117031/21; заявл. 04.05.2009; опубл. 20.12.2010, Бюл. № 35. 12 с.
10. Введенский О. Г. Эксперименты по исследованию параллельно-струйных течений во встречном потоке тех же физических свойств / О. Г. Введенский; Марийск. гос. пед. ин-т. М., 2004. 38 с. Деп. в ВИНТИ 01.03.04; № 356.

USE OF HYDRAULIC STREAMS IN DESIGNS OF LADDER FISH PASSES

Vvedenskiy Oleg Germanovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The problem of improvement of designs of entrance parts of fish passing constructions by means of application of hydraulic streams is discussed. Theoretical justification of use of hydraulic streams for attraction of fish in the fish pass is given. The essence of constructive modernization of entrance parts of fish passes is described. Short results of pilot studies are given.

Keywords: *hydrosystem's, storage pool, fish passes, spawning migration of fish, natural reproduction fish, nature-conservative measures.*

УДК 627.882 + 532.522

РЫБООХРАННЫЙ КОМПЛЕКС РАЙОНА ПОДВОДНОГО КАРЬЕРА «ЗАВОЛЖСКОЕ» ЧЕБОКСАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Введенский Олег Германович, Яровиков Иван Владимирович

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
VvedenskyOG@volgatech.net

Рассмотрены возможные подходы к созданию на водохранилищах рыбоохранных комплексов. Предложены варианты новых технических решений. Представлено математическое обоснование предлагаемых технических решений. Приведены краткие результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: гидроузел, водохранилище, рыбозащитные сооружения, миграция рыбы, естественное воспроизводство рыбы, природоохранные мероприятия

Введение. Острота проблемы охраны живой природы начиная с середины прошлого века по настоящее время не только не снижается, а наоборот, продолжает нарастать. Сейчас совершенно очевидно, что без специальных мер охраны некоторые виды животных не могут выжить, причем списки их, в частности рыб, увеличиваются с каждым годом. Необходимо, чтобы человек своей деятельностью не ставил под угрозу генофонд живых существ. Для этого нужно сохранять численность популяций на уровне, достаточном для их выживания.

Необходимость охраны видов рыб подтверждается следующим [1-3]:

- во-первых, видовое разнообразие, обусловленное длительным процессом эволюции, составляет основу целостности экосистем, а значит, и биосферы в целом. Выпадение нескольких, а иногда даже одного «малоценного» вида ведет к нарушению этой целостности, разрушению продуктивных экосистем. По мере того как естественные сообщества становятся менее разнообразными, их сопротивляемость антропогенному воздействию и продуктивность будут снижаться, начнётся их вырождение;
- во-вторых, водные организмы представляют собой важнейший ресурс, вовлекаемый в хозяйственную деятельность человека. Рыбы широко используются в питании населения, для корма скота, для изготовления ряда медицинских препаратов и в других целях;
- в-третьих, даже не используемые в настоящее время виды имеют потенциальную экономическую ценность, так как невозможно предсказать, какие именно виды и какие их свойства окажутся полезными или даже незаменимыми для человечества в будущем;
- в-четвертых, велика роль рыб в удовлетворении рекреационных и эстетических потребностей людей;
- в-пятых, рыбы представляют собой образовательную и научную ценность. Большую значимость рыбы имеют как биоиндикаторы загрязнения воды и состояния водных экосистем. Таким образом, потеря любого вида рыбы – невосполнимая утрата для человечества.

Рассматривая негативные экологические последствия, источником которой является хозяйственная деятельность на водоемах, следует иметь в виду, что большинство видов ущерба можно предотвратить предупредительными мерами. Данные меры должны состоять из комплекса технологий и сооружений, направленных на сохране-

ние условий естественного воспроизводства водных биологических ресурсов на всех стадиях их жизненного цикла, в частности при разработке подводного карьера.

Цель работы – обоснование мероприятий, образующих рыбоохранный комплекс района подводного карьера (на примере карьера «Заволжское» Чебоксарского водохранилища).

Решаемые задачи: проведение оценки ущерба, наносимого водным организмам при разработке карьера, а также разработка мероприятий по замедлению интенсивности покатных миграций рыб и защите рыб непосредственно от источников опасности.

Оценка ущерба, наносимого водным организмам при разработке карьера. Технологические расчёты показывают, что объём добычи песка на Заволжском месторождении землесосным снарядом составит около 319,5 тыс. тонн [4]. Во время разработки песка будет образовываться зона повышенной мутности. Объём зоны мутности, как показывают расчёты, составит 693600 тыс. м³. Средняя концентрация молоди рыб во время разработок составит 0,3 экз./м³. Тогда в объёме воды зоны повышенной мутности будет содержаться 208 080 экземпляров молоди различных видов рыб. В рассматриваемом объёме воды погибнет 50 % молоди (104040 экз.), что и будет являться ущербом от гибели молоди рыб при разработке песка в районе месторождения «Заволжское» (см. таблицу). Для определения ущерба рассчитываемое количество молоди рыб разбивается в соответствии с видовым составом ихтиофауны, учитывая при этом промвозврат по средней массе каждой особи, достигшей половой зрелости. Наибольший ущерб будет причинен лещу и судаку, а с учетом промвозврата общий ущерб рыбному хозяйству составит 0,366 т.

Ущерб наносимый рыбному хозяйству от гибели молоди рыб при добыче песка

Виды рыб	Численность вида, %	Количество погибшей молоди, шт.	Промвозврат, %	Количество погибшей рыбы с учётом промвозврата, шт.	Средняя масса 1 экз. особи, кг	Общий ущерб, кг
Стерлядь	1,7	1769	0,5	9	0,81	7,3
Лещ	23,5	24449	1,0	245	0,64	156,8
Судак	2,3	2393	1,0	24	1,80	43,2
Жерех	0,3	312	1,0	3	1,90	3,6
Берш	0,5	520	1,5	8	0,22	1,8
Налим	0,2	208	1,5	3	1,20	3,6
Щука	0,2	208	4,0	8	2,00	16,0
Язь	3,6	3745	1,0	38	0,60	22,8
Плотва	7,8	8115	1,0	81	0,10	8,1
Густера	12,3	12797	1,0	128	0,10	12,8
Чехонь	9,4	9780	1,0	98	0,16	15,7
Синец	11,3	11757	1,0	118	0,30	35,4
Белоглазка	4,3	4474	1,0	45	0,30	13,5
Уклея	6,6	6867	2,0	138	0,02	2,8
Окунь	8,5	8843	2,0	176	0,05	8,8
Ерш	5,3	5514	2,0	110	0,02	2,2
Прочие	2,2	2289	2,0	46	0,01	0,5
Всего	100,0	104040	–	–	–	354,9

Рыбоохранный комплекс подводного карьера «Заволжское» Чебоксарского водохранилища. При организации рыбоохранного комплекса необходимо будет решить две основные задачи: обеспечение недопущения попадания и, соответственно, гибели в землесосном снаряде водных биологических ресурсов; отвод защищенных рыб и ее молодь от месторождения в безопасное место водохранилища [1, 2, 5].

Если провести анализ существующих конструкций рыбозащитных устройств и технологий защиты, то все в конечном итоге сведётся к наличию и качеству работы рыбоотвода. Проблема в том, что как бы ни хороши были различные конструкции рыбоотводов, в них есть один существенный недостаток: по рыбоотводу транспортируется сконцентрированная молодь рыб, которая выпускается на ограниченную акваторию, прилегающую непосредственно к источнику опасности. При этом молодь рыб, проходя через рыбоотводящий канал, в большей или меньшей степени переживает определенный стресс, ведущий к тому, что для восстановления защитных реакций она нуждается в отдыхе в течение некоторого времени. Кроме рыб по рыбоотводу отводится и планктон. В результате чего обитающие в водоеме хищники, используют такую ситуацию и, находясь в прямой близости к выходному оголовку рыбоотвода, свободно откармливаются на обильно поступающем к ним легкодоступном корме.

Обозначим два основных направления устранения данного недостатка [2, 5]:

- во-первых, организация за выходным оголовком рыбоотвода мероприятий по обеспечению безопасности защищаемых рыб;
- во-вторых, использование условий, сформировавшихся за рыбоотводом, для организации откорма ценных промысловых рыб.

Первый путь можно осуществить, дооборудовав разными видами убежищ [1, 2, 5] для молоди (рис. 1), а также ограничив акваторию непроницаемыми для хищников устройствами, например рыбозаградителями и т.п.

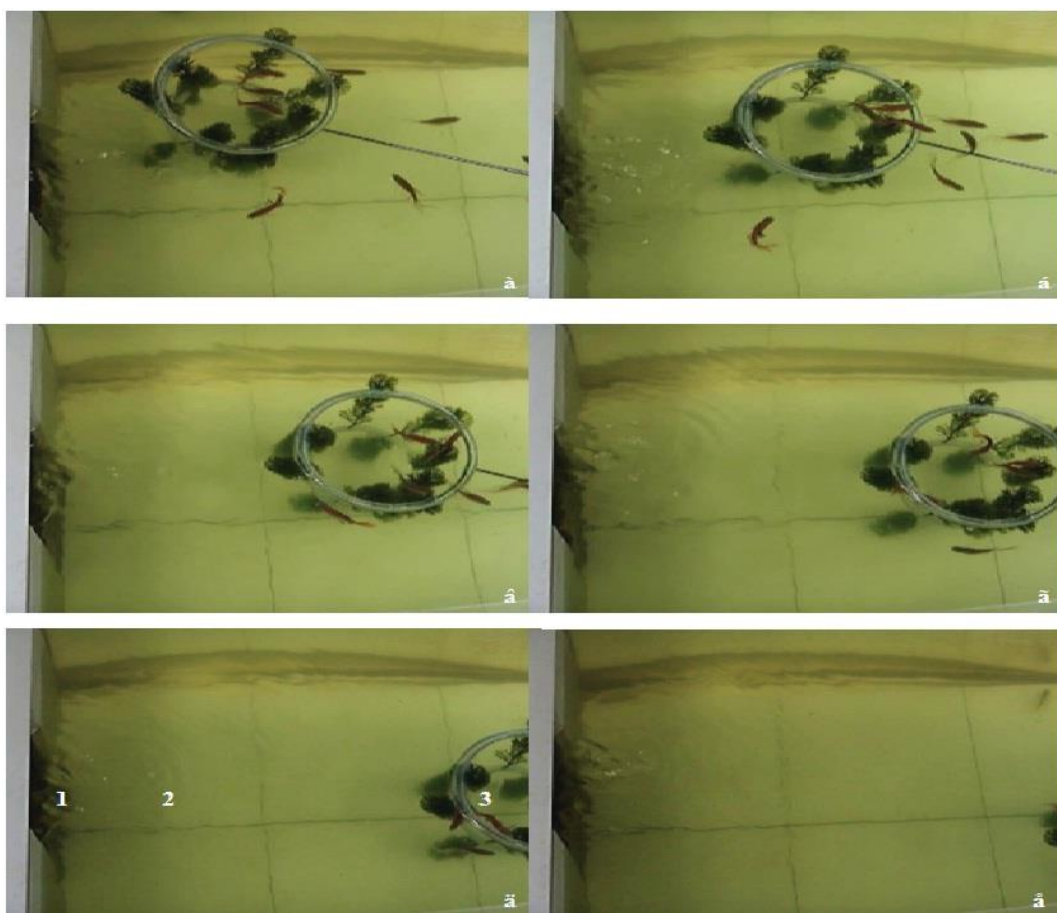


Рисунок 1 – Движение рыб за перемещающимся плавучим рыбообитаемым убежищем:
1 – водозаборное окно; 2 – гидравлический экран; 3 – плавучее рыбообитаемое убежище

Второй вариант заключается в управлении при непосредственной близости источника опасности и мест нагула взрослых ценных видов рыб, которые кормятся на отводимой с помощью рыбоотвода молоди малоценных видов рыб. Именно этот вариант наиболее полно отвечает как интересам рыбного хозяйства, так и положениям о безопасности рыб и требованиям современного Водного кодекса. Реализация данного варианта возможна при проведении на водохранилище в районе подводного карьера специального комплекса рыбоводных и рыбозащитных мероприятий, образующих рыбоохранный комплекс подводного карьера [2, 5].

Чебоксарское водохранилище, как известно, заселено различными видами рыб, которые занимают разные пищевые ниши, а именно: хищниками, планктоно-, бентосо- и растительноядными видами. Если рассмотреть характер кормовых миграций данных видов рыб, то можно сделать вывод, что некоторые виды хищников, а также бентосо- и растительноядные рыбы ведут в основном оседлый образ жизни, не делая длительных кормовых миграций. В то же время большинство видов хищников и планктоноядные рыбы могут совершать длительные кормовые миграции. Данное обстоятельство обуславливается тем, что в качестве корма они используют дрейфующий планктон и покатную молодь рыб. Плывая за ними, данные виды рыб хотя и активно, но тоже «скатываются» вниз по течению к району добычи полезных ископаемых. Подойдя к этому району, рыбы в светлое время суток находятся в поверхностном слое. Здесь они питаются, поедая планктон и покатную молодь аборигенных видов рыб. В ночное время суток у потерявших зрительную ориентацию рыб понижается способность активно противостоять течению, что приводит к их скату в водоприемник земснаряда. Массовая гибель планктона, взрослой рыбы и ее молоди значительным образом снизит зарыбление водохранилища.

Проанализировав возможные варианты решения указанной проблемы, можно наметить два основных, дополняющих друг друга пути организации рыбоохранного комплекса:

- недопущение подхода рыб к участку добычи строительных песков за счет замедления дрейфа планктона и ската молоди;
- охрана рыб напрямую на водоприемнике земснаряда с предельно возможным использованием особенностей поведения и распределения рыб в толще воды [2, 5, 6].

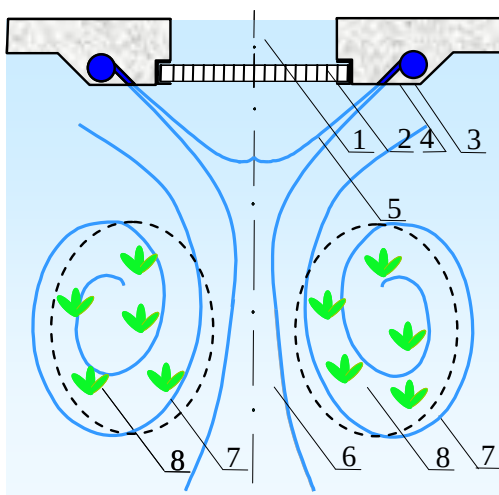


Рисунок 2 – Схема работы плавучего рыбозащитного устройства: 1 – водозаборное окно насоса; 2 – сороудерживающая решетка; 3 – патрубок струегенератора; 4 – струеобразующий насадок; 5 – гидравлический экран; 6 – рыбоотводящее течение (суммарный поток); 7 – водоворотная зона; 8 – рыбообитаемое убежище

Работу рыбоохранного комплекса можно организовать с помощью подвижных плавучих устройств, где в качестве рыбоотводящего компонента используется гидравлическая струя (рис. 2). Оборудовав таким устройством земснаряд, мы сможем с помощью формируемого восходящего течения не только не допустить попадание планктона и покатников во всасывающее устройство, но и удержать их в поверхностной рыбообитаемой зоне участка водохранилища. Покатники, концентрируясь в поверхностной зоне, будут держаться напорной грани рыбообитаемого убежища (см. рис. 1). При накоплении рыб в убежище его переводят в безопасное место акватории водохранилища.

Математическая модель предлагаемого технического решения и краткие результаты экспериментальных исследований. Формирование рыбоотводящего течения в зоне работы земснаряда происходит посредством «гидравлического экрана», образованного перед водозаборным окном насоса земснаряда. Математическое условие образования «гидравлического экрана» записывается в следующем виде [2, 4, 7, 8]:

$$V_{U0} = \sqrt{gH}, \quad (1)$$

где V_{U0} – начальная осевая скорость суммарного потока, являющегося результатом взаимодействия гидравлических струй; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; H – величина напора на входе в водозаборное окно насоса, м.

Начальную осевую скорость суммарного потока V_{U0} находят по формуле [4, 8]:

$$V_{U0} = \varphi \frac{V_0 d_{0n}^{\frac{2}{3}} b_{\text{э}}^{\frac{1}{3}} n}{9,514(h_{\text{э}} - b_{\text{э}})}, \quad (2)$$

где V_{U0} – начальная осевая скорость суммарного потока, м/с ; φ – безразмерный коэффициент, определяемый опытным путем; V_0 – начальная скорость истечения гидравлических струй из струеобразующих насадков, м/с ; d_{0n} – диаметр струеобразующих насадков, м; $b_{\text{э}}$ – расстояние между осями гидравлических струй, м; n – число гидравлических струй в ряду; $h_{\text{э}}$ – расстояние между плоскостями распространения гидравлических струй, м.

Для формирования эффективного рыбоотводящего течения (суммарного потока) необходимо, чтобы напор противотока V_{U0}^2 / g был меньше напора H на входе в водозаборное окно насоса на величину ΔH , называемую дополнительным напором. Величину дополнительного напора ΔH можно оценить из следующего выражения:

$$\Delta H = H - \frac{V_{U0}^2}{g}. \quad (3)$$

Для математического обоснования величины средней скорости рыбоотводящего течения воспользуемся известным выражением для определения скорости истечения жидкости из отверстий [8, 9]:

$$V_{\text{РЫБОТВОД.ТЕЧ.}} = \sqrt{2g\Delta H}. \quad (4)$$

Экспериментальные исследования [9], проведенные на лабораторной установке с масштабом моделирования $\lambda_L = 10$, показали, что для определения величины средней скорости рыбоотводящего течения $V_{\text{РЫБОТВОД.ТЕЧ.}}$ в формулу (4) необходимо ввести поправочный безразмерный коэффициент $\varphi_{\text{П}}$, который учитывал бы условия форми-

рования гидравлическими струями противотока. С учетом данного обстоятельства, выражение (4) примет вид

$$V_{\text{ПРИВЛЕК}} = \varphi_{\text{П}} \sqrt{2g\Delta H}. \quad (5)$$

Как показали экспериментальные исследования [9], факторами, существенно влияющими на значение коэффициента $\varphi_{\text{П}}$, оказались величина напора противотока V_{u0}^2 / g , расстояние между осями гидравлических струй $b_{\text{э}}$, а также диаметр струеобразующих насадков d_{0n} (рис. 3). В ходе проведения экспериментов установлено, что значение коэффициента $\varphi_{\text{П}}$ колеблется в пределах 0,3...0,7 в зависимости от перечисленных выше факторов и, соответственно, от размеров водозаборного окна насоса.

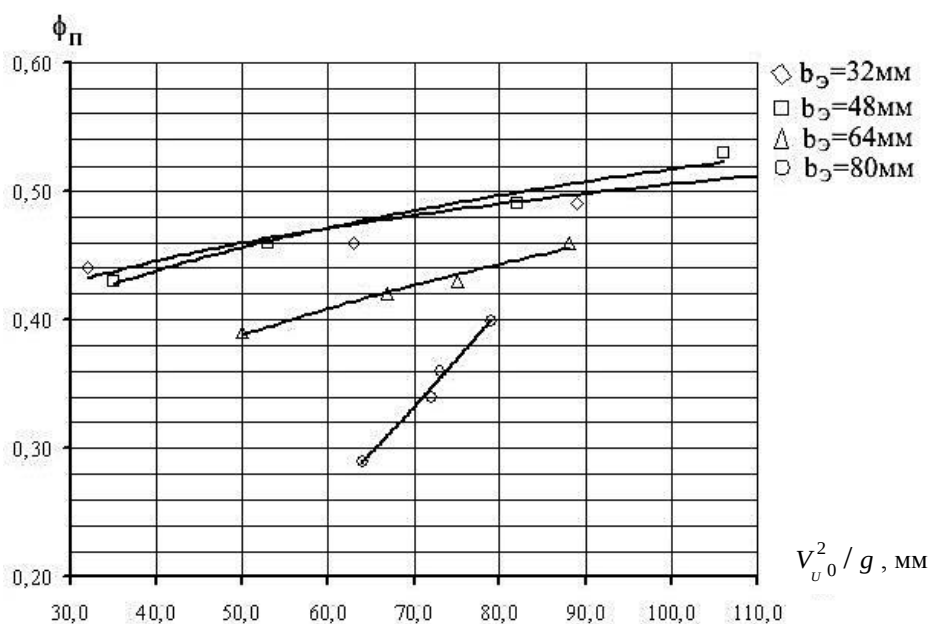


Рисунок 3 – График изменения значения коэффициента $\varphi_{\text{П}}$ от величины напора противотока V_{u0}^2 / g . Получено на гидравлической модели (масштаб $\lambda_L = 10$) с использованием струеобразующих насадков $d_{0n} = 7 \text{ мм}$ при различных расстояниях между осями гидравлических струй $b_{\text{э}}$

Выводы. Применение предлагаемого нами рыбоохранного комплекса, включающего мероприятия по снижению интенсивности покатных миграций по водохранилищу и защите рыб непосредственно перед источником опасности на месторождении «Заволжское», позволит максимально возможно использовать для нагула аборигенных и вселяемых рыб всю кормовую базу водохранилища. Предлагаемые мероприятия обеспечат надежную защиту как резидентных организмов, оседло обитающих на кормовых участках водоема, так и мигрантов, скатывающихся в район карьера, что позволит, в свою очередь, интенсифицировать существующую систему рыбоводства и рыбохозяйственного освоения Чебоксарского водохранилища.

Список литературы

1. Введенский О. Г. Организация миграционного цикла рыб в составе рыбоохранного комплекса гидроузла // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2014. № 4. С. 74-84.

2. Введенский О. Г. Рыбоохранный комплекс гидроузла // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2013. № 4. С. 67-81.
3. Введенский О. Г., Яровиков И. В. Рыбоохранные мероприятия в процессе создания и эксплуатации водохранилищ // Труды Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Технологическая. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. Вып. 4. С. 148-153.
4. Введенский О. Г. Конструкции рыбоходов с противотечением на основе экологической технологии использования гидравлических струй // Инженерная экология. 2010. № 3. С. 17-30.
5. Иванов А. В. Обеспечение безопасности рыб на водозаборах: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.07; 25.00. М., 2007. 219 с.
6. Пат. 84866 РФ, МПК⁸ E02B 8/08. Рыбоход ПЭС / А.В. Иванов, О.Г. Введенский, В.Г. Гаврилов, И.В. Гудков, Б.Л. Историк, Г.Л. Мажбиц, С.Н. Савченков, И.Н. Усачев, Г.Г. Филиппов, В.П. Халаджиев, Ю.Б. Шполянский (РФ). № 2009107859/22; заявл. 05.03.2009; опубл. 20.07.2009, Бюл. № 20. 3 с.
7. Пат. 2363806 РФ, МПК⁸ E02B 8/08. Способ привлечения и пропуска рыб с разной плавательной способностью в рыбоход / О.Г. Введенский (РФ). № 2008107291/03; заявл. 26.02.2008; опубл. 10.08.2009, Бюл. № 22. 10 с.
8. Пат. 2179265 РФ, МПК⁷ F04F 5/02. Способ транспортировки жидкости с первого участка на второй, вышерасположенный участок / О.Г. Введенский (РФ). № 2000110254/06; заявл. 20.04.2000; опубл. 10.02.2002, Бюл. № 4. 3 с.
9. Введенский О. Г. Эксперименты по исследованию параллельно-струйных течений во встречном потоке тех же физических свойств / О. Г. Введенский; Марийск. гос. пед. ин-т. М., 2004. 38 с. Деп. в ВИНТИ 01.03.04; № 356.

FISH-PROTECTING COMPLEX OF AN UNDERWATER PIT "ZAVOLZHYE" CHEBOKSARY WATER RESERVOIR

Vvedenskiy Oleg Germanovich, Yarovikov Ivan Vladimirovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

Possible approaches on making fish-protecting complexes on water-engineering system. Options of new technical solutions are offered. Mathematical justification of the proposed technical solutions is presented. Short results of pilot studies are given.

Keywords: *hydrosystem's, storage pool, fish-protecting constructions, migration of fish, natural reproduction fish, nature-conservative measures.*

УДК 531.32

НЕСИНГУЛЯРНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СФЕРИЧЕСКОГО МАЯТНИКА С ПОДВИЖНОЙ ТОЧКОЙ ПОДВЕСА

Журавлев Евгений Алексеевич

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
ZhuravlevEA@volgatech.net

Нелинейные уравнения вынужденных колебаний сферического маятника с подвижной точкой подвеса построены с использованием обобщенных координат, гарантирующих невырождаемость уравнений в нижнем положении равновесия. Выполнены численные исследования некоторых резонансных режимов движения маятника.

Ключевые слова: сферический маятник, подвижная точка подвеса, нелинейные вынужденные колебания, невырожденные уравнения динамики.

Введение. Несмотря на более чем 200-летнюю историю, задачи о колебаниях сферического маятника продолжают привлекать внимание исследователей. Их решению посвящаются как теоретические работы [1-3], так и работы, имеющие инженерную направленность [4-6]. Авторы всех известных нам работ, используют в качестве обобщенных координат сферического маятника углы θ и φ , показанные на рисунке 1.

Соответствующие уравнения динамики свободных колебаний маятника имеют вид

$$\begin{cases} \ddot{\theta} = \dot{\varphi}^2 \sin \theta \cos \theta - \frac{g}{L} \sin \theta, \\ \ddot{\varphi} = -2\dot{\theta}\dot{\varphi} \operatorname{ctg} \theta. \end{cases} \quad (1)$$

Такой выбор координат идеально согласуется с физической симметрией маятника и позволил получить эффектные результаты в аналитических исследованиях его свободной и вынужденной прецессии [7, 2]. В то же время очевидно, что правая часть второго из уравнений (1) имеет сингулярность при $\theta = 0$, т.е. в нижнем положении равновесия маятника. Эта сингулярность имеет глубокие топологические корни и связана с отсутствием взаимно однозначного соответствия между точками сферы и прямоугольника $[0, 2\pi) \times [0, 2\pi)$. При описании сферического движения твердого тела от подобного несоответствия удаётся избавиться переходом от углов Эйлера к компонентам нормированного кватерниона (параметрам Родрига–Гамильтона). Для сферического маятника подобная параметризация до настоящего времени не получена.

Для аналитических исследований прецессии сферического маятника отмеченная сингулярность не имеет рокового значения лишь благодаря тому счастливому обстоятельству, что прецессирующий маятник никогда не попадает в положение $\theta = 0$. Ситуация решительно изменяется при описании колебаний маятника с произвольным движением точки подвеса и, в частности, в исследованиях, связанных с кинематическим управлением колебаниями груза на подвесе, когда достижение нижнего равновесного состояния обычно является целью управления [1].

Цель работы – построить и получить программную реализацию математической модели вынужденных колебаний сферического маятника, дифференциальные уравнения которой не содержат сингулярностей в точке свободного равновесия маятника.

Решаемые задачи: 1) построение математической модели вынужденных колебаний сферического маятника на основе уравнений Лагранжа и матричных преобразований координат; 2) программная реализация алгоритма численного решения полученных дифференциальных уравнений и её тестирование; 3) численное исследование некоторых резонансных режимов колебаний маятника.

Математическое моделирование. Рассматривается движение материальной точки M массой m , закрепленной на конце абсолютно жесткого невесомого стержня OM длиной L . Второй конец этого стержня – точка подвеса O может совершать произвольное пространственное движение. Для описания движений будем использовать три системы координат: базовую инерциальную систему $EX_0Y_0Z_0$ с осью EZ_0 , направленной вертикально вниз; подвижную систему $OXYZ$, которая перемещается поступательно вместе с точкой подвеса O ; подвижную систему $OX'Y'Z'$, жестко связанную со стержнем OM так, что точка M располагается на оси OZ' (см. рис. 2). Взаимное распо-

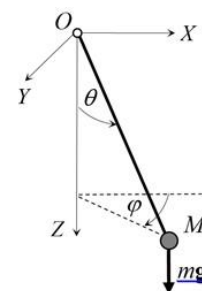


Рисунок 1

положение осей координат $OX'Y'Z'$ и $OXYZ$ определяется двумя углами α и β таким образом, что система $OX'Y'Z'$ получается из $OXYZ$ при помощи двух последовательных поворотов: сначала вокруг оси OX на угол α , а затем вокруг оси OY' на угол β (рис. 2).

В неинерциальной системе отсчета $OXYZ$ векторное уравнение динамики материальной точки M имеет вид

$$m\mathbf{a} = m\mathbf{g} + \mathbf{N} + \mathbf{\Phi}_e,$$

где $\mathbf{a}$ – вектор ускорения точки M в подвижной системе отсчета $OXYZ$; $\mathbf{\Phi}_e = -m(\ddot{x}_O\mathbf{i} + \ddot{y}_O\mathbf{j} + \ddot{z}_O\mathbf{k})$

– переносная сила инерции точки; $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ – орты осей $OXYZ$; $x_O(t), y_O(t), z_O(t)$ – кинематические уравнения движения точки подвеса O , заданные в системе координат $EX_0Y_0Z_0$.

На основании уравнения (2) можно использовать для относительного движения уравнения Лагранжа, если включить $\mathbf{\Phi}_e$ в число заданных сил. Выберем в качестве обобщенных координат точки M углы α и β . Для вычисления кинетической энергии, обобщенных сил, декартовых координат точки M в системе $OXYZ$ удобно использовать векторные формулы и матричное представление преобразований координат векторов.

Для преобразования координат векторов из системы $OX'Y'Z'$ в $OXYZ$ используется матрица $\mathbf{P}(\alpha, \beta)$, полученная произведением матриц поворота вокруг осей OY' и OX :

$$\mathbf{P}(\alpha, \beta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ \sin \alpha \sin \beta & \cos \alpha & -\sin \alpha \cos \beta \\ -\cos \alpha \sin \beta & \sin \alpha & \cos \alpha \cos \beta \end{pmatrix}.$$

Вектор $\boldsymbol{\omega}$ угловой скорости стержня OM находим, используя известное правило сложения угловых скоростей $\boldsymbol{\omega}_\alpha = \dot{\alpha}\mathbf{i}$ и $\boldsymbol{\omega}_\beta = \dot{\beta}\cos\alpha\mathbf{j} + \dot{\beta}\sin\alpha\mathbf{k}$:

$$\boldsymbol{\omega} = \boldsymbol{\omega}_\alpha + \boldsymbol{\omega}_\beta = (\dot{\alpha}, \dot{\beta}\cos\alpha, \dot{\beta}\sin\alpha)^T. \quad (3)$$

Координаты радиус-вектора $\mathbf{r}$ точки M в системе координат $OXYZ$ можно найти при помощи определенной выше матрицы преобразования $\mathbf{P}(\alpha, \beta)$:

$$\mathbf{r} = \mathbf{P}(\alpha, \beta) \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ \sin \alpha \sin \beta & \cos \alpha & -\sin \alpha \cos \beta \\ -\cos \alpha \sin \beta & \sin \alpha & \cos \alpha \cos \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L \sin \beta \\ -L \sin \alpha \cos \beta \\ L \cos \alpha \cos \beta \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Кинетическая энергия точки M в подвижной системе отсчета $OXYZ$:

$$T = \frac{mv^2}{2} = \frac{m}{2}(\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r})^2 = \frac{mL^2}{2} \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ \dot{\alpha} & \dot{\beta}\cos\alpha & \dot{\beta}\sin\alpha \\ \sin\beta & -\sin\alpha\cos\beta & \cos\alpha\cos\beta \end{vmatrix}^2 = \frac{mL^2}{2}(\dot{\beta}^2 + \dot{\alpha}^2\cos^2\beta). \quad (5)$$

При нахождении обобщенных сил Q_α и Q_β , соответствующих выбранным координатам α и β , будем вычислять по отдельности обобщенные силы Q_α^g, Q_β^g , обуслов-

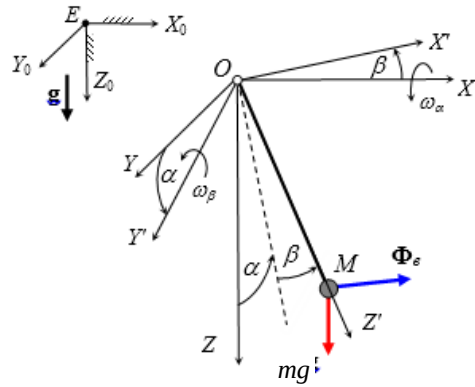


Рисунок 2

ленные действием силы тяжести mg и обобщенные силы Q_α^e , Q_β^e , обусловленные учетом переносной силы инерции Φ_e .

Для силы тяжести элементарная работа может быть представлена в виде

$$dA = \mathbf{m}_O(mg) \cdot \boldsymbol{\omega} dt = (\mathbf{r} \times mg) \cdot \boldsymbol{\omega} dt = mg \boldsymbol{\omega} \mathbf{r} dt =$$

$$= mgL \begin{vmatrix} \dot{\alpha} & \dot{\beta} \cos \alpha & \dot{\beta} \sin \alpha \\ \sin \beta & -\sin \alpha \cos \beta & \cos \alpha \cos \beta \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} dt = mgL(-\sin \alpha \cos \beta d\alpha - \cos \alpha \sin \beta d\beta),$$

откуда следует

$$Q_\alpha^g = -mgL \sin \alpha \cos \beta, \quad Q_\beta^g = -mgL \cos \alpha \sin \beta. \quad (6)$$

Аналогично для переносной силы инерции Φ_e

$$dA = \mathbf{m}_O(\Phi_e) \cdot \boldsymbol{\omega} dt = (\mathbf{r} \times \Phi_e) \cdot \boldsymbol{\omega} dt = \boldsymbol{\omega} \mathbf{r} \Phi_e dt = -mL \begin{vmatrix} \dot{\alpha} & \dot{\beta} \cos \alpha & \dot{\beta} \sin \alpha \\ \ddot{x}_O & \ddot{y}_O & \ddot{z}_O \\ \sin \beta & -\sin \alpha \cos \beta & \cos \alpha \cos \beta \end{vmatrix} dt =$$

$$= mL(\ddot{z}_O \sin \alpha + \ddot{y}_O \cos \alpha) \cos \beta d\alpha - mL[\ddot{x}_O \cos \beta + (\ddot{y}_O \sin \alpha - \ddot{z}_O \cos \alpha) \sin \beta] d\beta,$$

откуда следует

$$Q_\alpha^e = mL(\ddot{z}_O \sin \alpha + \ddot{y}_O \cos \alpha) \cos \beta, \quad Q_\beta^e = -mL[\ddot{x}_O \cos \beta + (\ddot{y}_O \sin \alpha - \ddot{z}_O \cos \alpha) \sin \beta]. \quad (7)$$

Используя инвариантную форму уравнений Лагранжа 2-го рода

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \alpha} = Q_\alpha^g + Q_\alpha^e, \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\beta}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \beta} = Q_\beta^g + Q_\beta^e$$

и полученные выше выражения кинетической энергии (5) и обобщенных сил (6), (7), получаем систему двух дифференциальных уравнений, описывающих колебания сферического маятника с подвижной точкой подвеса:

$$\begin{cases} \ddot{\alpha} = 2\dot{\alpha}\dot{\beta} \operatorname{tg} \beta - \frac{g}{L} \frac{\sin \alpha}{\cos \beta} + \frac{1}{L \cos \beta} (\ddot{z}_O \sin \alpha + \ddot{y}_O \cos \alpha), \\ \ddot{\beta} = -\dot{\alpha}^2 \sin \beta \cos \beta - \frac{g}{L} \cos \alpha \sin \beta - \frac{1}{L} [\ddot{x}_O \cos \beta + (\ddot{y}_O \sin \alpha - \ddot{z}_O \cos \alpha) \sin \beta]. \end{cases} \quad (8)$$

От уравнений (1) система (8) выгодно отличается тем, что в равновесном положении $\alpha = \beta = 0$ ни одно из её уравнений не содержит сингулярных членов. Сингулярность появляется в правой части первого из уравнений (8) лишь при значениях $\beta = \pm \pi/2$, т.е. при достижении маятником горизонтального положения.

Компьютерная реализация алгоритма. При произвольном законе движения точки подвеса O маятника аналитическое исследование решений существенно нелинейной системы (8) затруднительно. В то же время численное решение этой системы, разрешенной относительно старших производных, можно легко выполнить любым из известных методов. В работе использован метод Рунге-Кутты 4-го порядка с фиксированным временным шагом, реализованный в виде стандартной процедуры пакета MathCad.

Численные результаты. Для проверки полученных уравнений (8) и работоспособности программы была решена задача о свободной прецессии ($x_O = y_O = z_O = 0$) маятника длиной $L = 1$ м при начальных условиях $\alpha(0) = 1$, $\beta(0) = 0,45$.

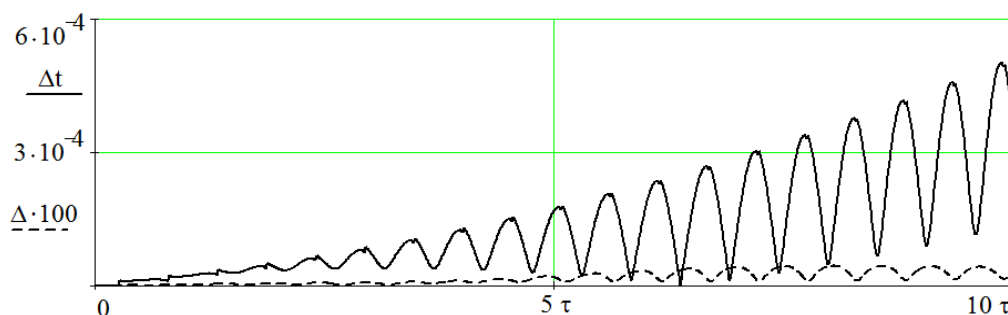


Рисунок 3

Результаты, полученные с использованием моделей (8) и (1), сравнивались с решением [7]. На рисунке 3 показаны отклонения положений точки M , отнесенные к длине L маятника: Δ и Δt – отклонения решений для моделей (8) и (1) соответственно от решения [7] при одинаковом временном шаге $\pi/400$; $\tau = 2\pi\sqrt{L/g}$ – период малых свободных колебаний маятника. Погрешность предложенной модели (8) на три порядка меньше, чем у модели (1).

Результаты расчета движения точки M маятника при периодическом движении точки подвеса O представлены на рисунке 4. Уравнения движения точки подвеса имели следующий вид: $x_O(t) = 0,01L \sin(pt)$, $y_O(t) = 0,01L \cos(pt)$, $z_O(t) = 0$, где $p = \sqrt{g/L}$ – частота малых свободных колебаний маятника. Начальные условия нулевые. Сначала поведение маятника напоминает резонансный режим с линейно нарастающей амплитудой – радиусом траектории точки M . После достижения максимального отклонения от вертикали движение точки M не становится стационарным. Начинается обратный процесс: движение точки M продолжается по суживающейся спирали к исходному состоянию. Этот результат позволяет надеяться на существование таких режимов малых движений точки подвеса, которые могут эффективно компенсировать возмущения маятника.

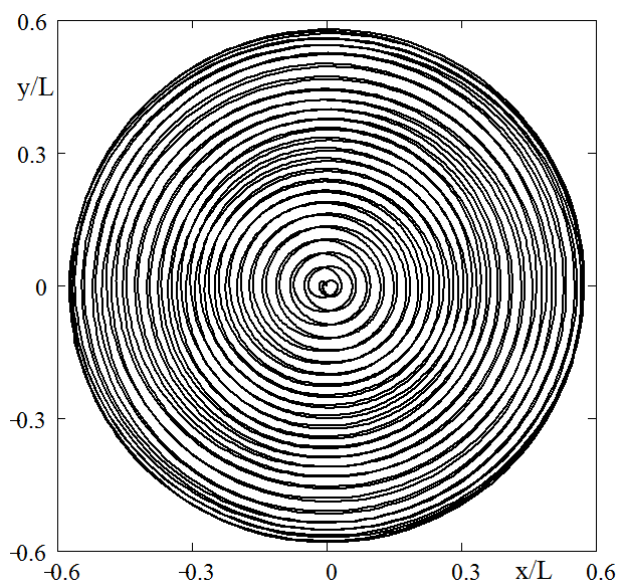


Рисунок 4

Выводы

1. Построена дифференциальная математическая модель вынужденных колебаний сферического маятника с точкой подвеса, выполняющей произвольное пространственное движение. Уравнения модели не вырождаются при прохождении маятником нижнего положения равновесия.

2. Получена компьютерная реализация модели (8) стандартными средствами пакета MathCad и выполнено её тестирование. Проведен численный анализ резонансных режимов колебаний сферического маятника.

Автор благодарит И.А. Кудрявцева – руководителя лаборатории мехатроники Института механики и машиностроения ПГТУ, привлёкшего внимание к проблематике, затронутой в данной статье.

Список литературы

1. Черноусько Ф. Л. Оптимальное перемещение маятника // Прикладная математика и механика. 1975. Т. 39, № 5. С. 806-816.
2. Буланчук П. О., Петров А. Г. Об управлении движением сферического маятника с помощью вибрации точки подвеса // Докл. РАН. 2005. Т. 405, № 1. С. 51–55.
3. Полехин И. Ю. О механических системах с неавтономными возмущениями: дис. ... канд. ф.-м. наук по спец. 01.02.01 «Теоретическая механика». М.: МГУ, 2015. 127 с.
4. Стадник А. Н., Периг А. В., Дериглазов А. И. Применение относительных декартовых координат для сложного движения сферического маятника // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 137. Сер.: Механіка, енергетика, екологія. Севастополь, 2013. С. 24-31.
5. Ефимов В. В. Математическое описание движения груза на внешней подвеске вертолета // Научный Вестник МГТУ ГА. Сер. Аэромеханика и прочность. 2007. № 111. С. 121-128.
6. A nonlinear 8-DOF coupled crane-ship dynamic model / M. M. Idres, K. S. Youssef, D. T. Mook, A. H. Nayfeh // Collection of Technical Papers AIAA/ASME/ASCE/AHS /ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference. Norfolk, 2003. P. 4187-4197.
7. Бухгольц Н. Н. Основы курс теоретической механики. М.: Наука, 1965. С. 427-434.

NONSINGULAR MATHEMATICAL MODEL OF SPHERICAL PENDULUM WITH FLUID SUSPENSION POINT

Zhuravlev Evgeniy Alekseevich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The nonlinear equations for induced oscillations of a spherical pendulum with a movable suspension point are constructed by using generalized coordinates, which guarantee the non-degeneracy of the equations in the lower equilibrium position. Numerical studies of some resonant modes of motion of the pendulum are performed.

Keywords: spherical pendulum, movable suspension point, nonlinear induced oscillations, non-degenerate equations of dynamics.

УДК 519.63

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОКИСИ АЗОТА NO В КИНЕТИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМАХ Я. Б. ЗЕЛЬДОВИЧА

Иванов Владимир Викторович, Кузьмина Ольга Валериановна

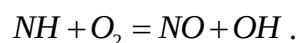
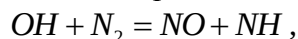
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
KuzminaOV@volgatech.net

Представлены результаты численного моделирования динамики процесса образования – распада оксида азота по кинетической схеме Я. Б. Зельдовича через гидроксильные радикалы. Получен аналог «быстрых» оксидов азота с участием радикала NH.

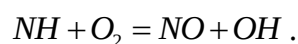
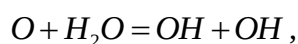
Ключевые слова: моделирование, химическая кинетика, оксиды азота NO, гидроксильный радикал, «быстрые» оксиды азота NO.

Введение. В процессе горения в воздухе углеводородных топлив образуются химически активные оксиды азота NO, являющиеся экологически опасными продуктами. Моделирование образования оксидов азота рассматривалось во многих работах (см., например, [1-3]), где обсуждаются кинетические схемы образования NO, выбор значений констант отдельных реакций, условия проведения эксперимента и пр. Общим в данных работах является то, что при постановке задачи в данных работах принимаются некоторые постоянные заданные температуры горения и составы смеси. Однако процессы сжигания топливно-воздушной смеси в камере сгорания представляют собой нестационарные газодинамические процессы тепло-, массопереноса, распределенные по длине камеры и протекающие с переменными температурой и составом смеси, т. е. они являются системами с распределенными параметрами, зависящими от динамических параметров рабочего процесса. Изменение отдельного параметра, например, температуры смеси, подаваемой на вход в камеру, существенно влияет как на ход процесса горения в целом, так и на процессы эмиссии вредных веществ [4].

Общепризнано, что при горении топлив, не содержащих связанного азота, наибольший вклад в образование NO дает «термический» механизм Я. Б. Зельдовича [5-7], в котором определяющей является реакция азота воздуха с атомарным кислородом. При этом предполагается, что атомарный кислород всегда находится в объеме камеры [1, 5]. Однако когда в топливной смеси содержатся пары воды, реакция образования NO может происходить не только через атомы кислорода, но и с участием радикалов OH, NH (через гидроксильные радикалы OH) по схеме



Данное предположение впервые было высказано авторами работы [5] и позднее было поддержано в работах [6-9]. В результате данных исследований было установлено, что добавка воды в топливную смесь снижает уровень концентрации атомарного кислорода и увеличивает концентрацию гидроксильных радикалов OH по реакции разветвления $O + H_2O = OH + OH$. Это позволяет предположить возможность реализации варианта механизма образования NO по схеме



Данный механизм образования NO , а также вопросы исследования динамики образования вредных веществ в потоке горящей топливной смеси не получили в литературе достаточного развития и обсуждения и являются актуальными.

Цель работы: разработать математическую модель нестационарного распределенного процессов горения потока топливно-воздушной смеси и образования оксида азота с участием радикалов OH , NH ; исследовать влияние радикалов на уровень образования NO .

Решаемые задачи:

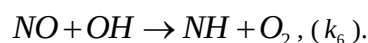
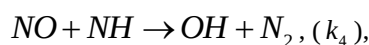
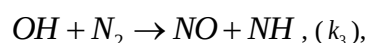
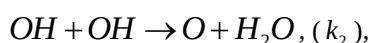
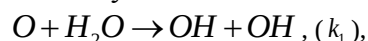
- 1) разработка математической модели, описывающей кинетику реакций образования NO через гидроксильные радикалы OH ;
- 2) исследование влияния констант скоростей реакций образования – распада радикалов OH , NH ;
- 3) оценка величины вклада каждого из радикалов OH , NH на уровень образования NO .

Математическая модель. Рассматривается задача моделирования процессов горения с химическими реакциями образования – распада оксида азота NO с участием радикалов OH , NH .

Вводятся следующие допущения:

1. Процессы горения, образования и распада компонентов реакций (1) рассматриваются как нестационарные процессы, распределенные во времени и вдоль оси камеры сгорания [4];
2. Предполагается, что реакция образования NO не зависит от вида (состава) топлива и определяется только температурой и концентрациями кислорода и азота воздуха, входящих в состав топливной смеси и изменяющихся при горении вдоль оси камеры;
3. Рассматривается горение «бедной» топливно-воздушной смеси с коэффициентами избытка воздуха α , изменяющегося в диапазоне $\alpha = (1 \div 1,25)$. Предполагается, что процесс горения (скорости и амплитуды изменения температуры, концентрации топлива, скорости тепловыделения) не зависит от динамики изменения компонентов химических реакций;
4. Избыток кислорода и азота воздуха при моделировании уравнений химической кинетики, как это принято в теории горения, учитывается при задании начальных и краевых условий для дифференциальных уравнений кинетики;
5. Тепло, выделяемое и поглощаемое в ходе прямых и обратных химических реакций, считается малым и не учитывается. Тепловые режимы химических реакций в механизме (1) определяются только теплом, выделившимся в результате сгорания топливно-воздушной смеси.

Составим математическую модель механизма (1). Для этого перепишем входящие в него реакции как прямые реакции и укажем константы скоростей каждой реакции



Используя алгоритм записи уравнений, представленный в работе [10], получим систему дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial C_O}{\partial t} + u \frac{\partial C_O}{\partial x} &= -k_1 C_O C_{H_2O} + k_2 C_{OH} C_{OH}, \\
 \frac{\partial C_{NO}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{NO}}{\partial x} &= k_3 C_{OH} C_{N_2} + k_5 C_{NH} C_{O_2} - k_4 C_{NO} C_{NH} - k_6 C_{NO} C_{OH}, \\
 \frac{\partial C_{O_2}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{O_2}}{\partial x} &= -k_5 C_{NH} C_{O_2} + k_6 C_{NO} C_{OH}, \\
 \frac{\partial C_{N_2}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{N_2}}{\partial x} &= -k_3 C_{OH} C_{N_2} + k_4 C_{NO} C_{NH}, \\
 \frac{\partial C_{H_2O}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{H_2O}}{\partial x} &= -k_1 C_O C_{H_2O} + k_2 C_{OH} C_{OH}, \\
 \frac{\partial C_{OH}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{OH}}{\partial x} &= 2k_1 C_O C_{H_2O} - 2k_2 C_{OH} C_{OH} - k_3 C_{OH} C_{N_2} + \\
 &\quad + k_4 C_{NO} C_{NH} + k_5 C_{NH} C_{O_2} - k_6 C_{NO} C_{OH}, \\
 \frac{\partial C_{NH}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{NH}}{\partial x} &= k_3 C_{OH} C_{N_2} - k_4 C_{NO} C_{NH} - k_5 C_{NH} C_{O_2} + k_6 C_{NO} C_{OH}
 \end{aligned} \tag{2}$$

относительно переменных $C_O(x, t)$, $C_{H_2O}(x, t)$, $C_{OH}(x, t)$, $C_{O_2}(x, t)$, $C_{NH}(x, t)$, $C_{N_2}(x, t)$, $C_{NO}(x, t)$. Уравнения, описывающие процесс горения топливной смеси и изменение температуры $T(x, t)$ вдоль оси камеры, даны в работе [4]. Значения констант скоростей прямых и обратных химических реакций заимствованы из работы [3]. Для системы (2) при заданных начальных и краевых условиях решается краевая задача.

Численное исследование динамики процесса образования – распада оксида азота NO .

1. *Исследование влияния значений констант скоростей реакций K_3 , K_5 на уровень образования NO .* При решении системы (2) с заданными начальными условиями и значениями констант $K_3 = 1 \cdot 10^7$, $K_5 = 3 \cdot 10^6$ было получено максимальное значение концентрации, равное $\max C_{NO} = 0.003572$ в узле расчетной сетки $k = 6$. Температура процесса горения в данном узле близка к начальной температуре $T_0 = 650K$. При этом температура во фронте пламени достигала значений порядка $T \in (2335K - 2509K)$, сам фронт пламени располагался значительно ниже по потоку в интервале узлов расчетной сетки $k \in [55 - 65]$.

Последовательное снижение значения константы скорости K_3 со значения $K_3 = 1 \cdot 10^7$ до значения $K_3 = 0.2 \cdot 10^7$ при фиксированном значении константы $K_5 = 3 \cdot 10^6$ привело к значительному понижению уровня концентрации NO до значения $\max C_{NO} = 0.0000875$. При этом максимальное значение $\max C_{NO}$ расположено уже во фронте пламени, что характерно для «термического» механизма Я. Б. Зельдовича [5-7].

Аналогичное понижение уровня выработки NO наблюдается и при понижении значения константы скорости K_5 со значения $K_5 = 1 \cdot 10^7$ до значения $K_5 = 1 \cdot 10^6$, кото-

рым соответствуют значения $\max C_{NO} = 0.0106$ и $\max C_{NO} = 0.0007$ при фиксированном значении $K_3 = 1 \cdot 10^7$. Максимальное значение $\max C_{NO}$ достигается по-прежнему в узлах $k = 5, 6$ при невысокой температуре $T \approx 650...660K$ в начале камеры сгорания.

2. Анализ влияния вкладов радикалов OH , NH на уровень образования NO . Вклады от радикалов оценивались приближенно по значениям слагаемых правой части уравнения

$$\frac{\partial C_{NO}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{NO}}{\partial x} = k_3 C_{OH} C_{N_2} + k_5 C_{NH} C_{O_2} - k_4 C_{NO} C_{NH} - k_6 C_{NO} C_{NH}.$$

Для этого были введены переменные $V_{OH}[k] = k_3 C_{OH} C_{N_2}$, $V_{NH}[k] = k_5 C_{NH} C_{O_2}$, оценивающие увеличение, и переменные $W_{OH}[k] = -k_4 C_{NO} C_{NH}$, $W_{NH}[k] = -k_6 C_{NO} C_{NH}$, оценивающие убыль концентрации C_{NO} в зависимости от скоростей k_3 , k_4 , k_5 , k_6 и концентраций радикалов C_{OH} , C_{NH} и атомов C_{N_2} , C_{O_2} . Здесь входящие в формулы концентрации находятся как решения системы (2) в узлах расчетной сетки, k – номер узла сетки.

Как показывают расчеты, суммарный вклад в образование (убыль – прибыль) NO от слагаемых $S_{NH} = V_{NH}[k] - W_{NH}[k]$ определяет основной прирост значений концентрации C_{NO} и имеет величину порядка $(0.001 - 0.006)$ в узлах сетки, расположенных до фронта пламени и выше вклада от слагаемых $S_{OH} = V_{OH}[k] - W_{OH}[k]$, имеющего величину порядка $(1 \cdot 10^{-6} ... 3 \cdot 10^{-6})$. Вклад S_{OH} становится соизмеримым с вкладом S_{NH} только в зоне высоких температур – во фронте пламени.

За фронтом пламени оба вклада убывают и на выходе из камеры имеют величины порядка $(5.0 \cdot 10^{-8} ... 2.0 \cdot 10^{-7})$. В итоге значение C_{NO} на выходе из камеры составляет величину $C_{NO}[k = 200] \approx 2.0 \cdot 10^{-9}$.

Выводы

1. Моделирование кинетики образования оксида азота NO в виде распределенной системы позволяет, в отличие от принятых в упомянутых работах [3, 8, 9] определить не только уровни образования – распада NO , но и уровень NO на выходе из камеры сгорания и тем самым дает возможность моделирования и управления температурой продуктов сгорания после фронта пламени.

2. Подтверждено предположение Я. Б. Зельдовича [5, с. 96] о возможности получения NO через гидроксильные радикалы OH и с участием радикала NH .

3. Выполненные численные расчеты позволяют выделить лидирующую роль радикала NH в образовании «быстрых» NO .

Список литературы

1. Варнатц Юю, Маас У., Диббл Р. Горение, физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ / пер. с англ. Г. Л. Агафонова; под ред. П. А. Власова. М.: Физматлит, 2003. 352 с.
2. Химия горения: пер. с англ. / под ред. У. Гардинера, мл. М.: Мир, 1988. 464 с.
3. Бочков М. В., Ловачев Л. А., Четвертушкин Б. Н. Химическая кинетика образования NO_x при горении метана в воздухе // Математическое моделирование. 1992. Т. 4, № 9. С. 3–36.

4. Сиразетдинов Т. К., Иванов В. В. Моделирование, синтез и устойчивость процессов в камере сгорания газотурбинных двигателей и энергетических установок: научное издание. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004. 243 с.
5. Зельдович Я. Б., Садовников П. Я., Франк-Каменецкий Д. А. Окисление азота при горении. М.: Изд. Академии наук СССР, 1947. 147 с.
6. Дрегаллин А. Ф., Черенков А. С. Общие методы теории высокотемпературных процессов в тепловых двигателях. М.: Янус-К, 1997. 328 с.
7. Канило П. М. Токсичность ГТД и перспективы применения водорода. Киев: Наукова думка, 1982. 139 с.
8. Новые технологии сжигания природного газа для экологически чистой энергетики / А. А. Иванов, А. Н. Ермаков, И. К. Ларин, Р. А. Шляхов // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2007. № 5. С. 115-124.
9. Гарипов М. Д., Гиниятов А. А., Сакулин Р. Ю. Влияние воды на кинетику окисления метановоздушных смесей в условиях поршневых ДВС с унифицированным рабочим процессом. Уфа: Вестник УГАТУ, 2008. Т.11, № 2 (29). С. 74-84.
10. Применение вычислительной математики в химической и физической кинетике / под ред. Л. С. Полака. М.: Наука, 1969. 279 с.

MODELING THE FORMATION OF NITRIC OXIDE NO IN THE KINETIC MECHANISMS OF JA.B. ZEL'DOVICH

Ivanov Vladimir Viktorovich, Kuzmina Olga Valerianovna

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

In article are provided results of numerical modeling a dynamics of formation-disintegration nitrogen oxide on the kinetic scheme of Ja. B. Zeldovich through hydroxyl radicals. The analog "fast" of nitrogen oxides with participation of the radical NH is received.

Keywords: model operation, chemical kinetics, nitrogen oxides NO , hydroxyl radical, "fast" nitrogen oxides NO .

Сведения об авторах

АЛИБЕКОВ Сергей Якубович – доктор технических наук, зав. кафедрой машиностроения и материаловедения

АНДРИАНОВ Денис Юрьевич – студент ПГТУ

АНДРИАНОВ Юрий Семенович – кандидат технических наук, профессор кафедры управления и права

АНИСИМОВ Павел Николаевич – старший преподаватель кафедры энергообеспечения предприятий

БАГАУТДИНОВ Ильдар Нургаязович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин

БАСТРАКОВ Валентин Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения и материаловедения

БЕЛЬГИБАЕВ Руслан Рашидович – младший научный сотрудник УНИД

БЕРБАСОВ Иван Андреевич – инженер-конструктор ООО «Тиара»

БИРЮКОВА Ольга Александровна – зав. лабораторией интродукции и акклиматизации травянистых растений

БОГАТЫРЕВ Максим Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечения предприятий

БОРОДИН Андрей Викторович – кандидат экономических наук, зав. кафедрой информатики и системного программирования

БУКАНОВА Татьяна Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования и производства электронно-вычислительных систем

БУКАТИНА Екатерина Геннадьевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры управления и права

ВАЙНШТЕЙН Виктор Мейлехович – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных технологий и автомобильных дорог

ВАСЯЕВА Елена Семеновна – кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-вычислительных систем

ВАСЯЕВА Наталья Семеновна – кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-вычислительных систем

ВВЕДЕНСКИЙ Олег Германович – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения

ВДОВИН Сергей Леонидович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин

ВИНОКУРОВ Александр Иванович – кандидат химических наук, доцент кафедры лесопромышленных и химических технологий

ГРЯЗИН Владимир Альбертович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – доктор биологических наук, старший научный сотрудник кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии

ДОВЫДЕНКОВ Владислав Андреевич – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения и материаловедения

ЕЛСУКОВ Алексей Александрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник УНИД

ЖУРАВЛЕВ Евгений Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов и прикладной механики

ИВАНОВ Владимир Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий

ИВАНОВ Константин Владимирович – аспирант ПГТУ

ИВАНОВА Мария Анатольевна – аспирант ПГТУ

ИЛИВАНОВ Виктор Юрьевич – кандидат технических наук, старший преподаватель, Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова

ИСАЕВ Александр Викторович – кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе, Государственный природный заповедник «Большая Кокшага»

КАЛИНИН Дмитрий Игоревич – инженер-проектировщик

КАМЕНСКИХ Александр Дмитриевич – старший преподаватель кафедры эксплуатации машин и оборудования

КАРТАШОВ Максим Игоревич – аспирант ПГТУ, старший государственный инспектор Управления надзора и контроля Департамента экологической безопасности, природопользования и защиты населения Республики Марий Эл

КОТЛОВ Виталий Геннадьевич – кандидат технических наук, директор института строительства и архитектуры

КОШПАЕВ Андрей Алексеевич – аспирант ПГТУ

КУДРЯВЦЕВ Игорь Аркадьевич – руководитель лаборатории мехатроники института механики и машиностроения

КУЗНЕЦОВА Юлия Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения

КУЗЬМИНА Ольга Валериановна – старший преподаватель кафедры прикладной математики и информационных технологий

КУСАКИН Александр Васильевич – кандидат сельскохозяйственных наук, профессор кафедры экологии, почвоведения и природопользования

КУТОНОВА Екатерина Васильевна – магистрант ПГТУ

ЛАВРЕНТЬЕВ Борис Федорович – кандидат технических наук, профессор кафедры проектирования и производства электронно-вычислительных систем

ЛАЩЕВСКИЙ Алексей Романович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики

МАКАРОВ Роман Александрович – аспирант, Ивановский государственный политехнический университет

МАЛАШКЕВИЧ Василий Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-вычислительных систем

МАЛАШКЕВИЧ Ирина Ардалионовна – доцент кафедры информационно-вычислительных систем

МЕДЯКОВ Андрей Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечения предприятий

МИРОШИН Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных технологий и автомобильных дорог

МИХАДАРОВА Ольга Васильевна – аспирант ПГТУ, старший преподаватель кафедры высшей математики

МОСКВИНА Ольга Сергеевна – инженер-проектировщик

МОРОХИН Дмитрий Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-вычислительных систем

МУХАМЕТОВА Светлана Валерьевна – старший преподаватель кафедры садово-паркового строительства, ботаники и дендрологии

НИКИШОВ Юрий Гаврилович – кандидат технических наук

НИКОНОВ Константин Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин

НУРЕЕВ Наиль Биалович – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, почвоведения и природопользования

ОНУЧИН Евгений Михайлович – кандидат технических наук, зав. кафедрой энергообеспечения предприятий

ОВЧИННИКОВ Владимир Викторович – аспирант ПГТУ, младший научный сотрудник УНИД

ПЕНКИН Юрий Афанасьевич – доцент кафедры проектирования зданий

ПОЗДЕЕВ Анатолий Геннадиевич – доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций и водоснабжения

ПОЗДЕЕВ Виктор Михайлович – кандидат технических наук, зав. кафедрой строительных конструкций и водоснабжения

ПОПОВ Вадим Алексеевич – старший преподаватель кафедры деревообрабатывающих производств

ПРИЧИНИН Дмитрий Алексеевич – магистрант ПГТУ

РУСАНОВА Нина Владимировна – магистрант ПГТУ

РЯБОВА Мария Игоревна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории дистанционного зондирования

САБАНЦЕВ Фёдор Анатольевич – инженер-проектировщик

САЛИХОВ Мухаммет Габдулхаевич – доктор технических наук, профессор кафедры строительных технологий и автомобильных дорог

СКУЛКИН Максим Феликсович – магистрант ПГТУ

СОКОВНИНА Анна Алексеевна – студент ПГТУ

СОКОВНИНА Екатерина Алексеевна – студент ПГТУ

СОЛОВЬЕВА Екатерина Вениаминовна – старший преподаватель кафедры машиностроения и материаловедения

СЮТОВА Анна Игоревна – старший преподаватель кафедры машиностроения и материаловедения

ТРОШКОВ Евгений Олегович – ассистент кафедры строительных конструкций и водоснабжения

ФЕДОРОВ Михаил Александрович – магистрант ПГТУ

ФИЩЕНКО Пётр Алексеевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики

ХАБИРОВ Нияз Габдулясирович – магистрант ПГТУ

ХИНКАНИН Александр Павлович – кандидат технических наук, зав. кафедрой проектирования зданий

ХИНКАНИН Леонид Александрович – аспирант ПГТУ

ШЕСТАКОВА Наталья Витальевна – магистрант ПГТУ

ШИРНИН Юрий Александрович – доктор технических наук, зав. кафедрой лесопромышленных и химических технологий

ЯБЛОНСКИЙ Роман Васильевич – ассистент кафедры эксплуатации машин и оборудования

ЯРОВИКОВ Иван Владимирович – магистрант ПГТУ

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
-------------------	---

ЛЕС, ЭКОЛОГИЯ, ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Бирюкова О. А. Вегетативная продуктивность сортов тюльпана гибридного	5
Букатина Е. Г., Хабиров Н. Г. Систематизация и упорядочение работы в области сохранения биоразнообразия Республики Татарстан	8
Демаков Ю. П., Нуреев Н. Б., Исаев А. В. Плотность сложения почв Среднего Поволжья	12
Кусакин А. В., Карташов М. И. 40 лет Государственному природному лесомелиоративному заказнику республиканского значения Республики Марий Эл «Лебедань»	17
Мухаметова С. В. Показатели качества семян боярышников в условиях интродукции	25
Мухаметова С. В. Показатели плодоношения сортов калины обыкновенной	31
Ширнин Ю. А., Причинин Д. А. Методика определения угловых и линейных параметров деталей деревянной пирамиды	34

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ И МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Бельгибаев Р. Р. Пассивное зондирование многомерного ионосферного КВ радиоканала	39
Елсуков А. А. ФКМ ионозонд для вертикального зондирования ионосферы	51
Лаврентьев Б. Ф., Андрианов Ю. С., Винокуров А. И. Прибор для получения серебряной воды «Эрвий 3»	57
Лаврентьев Б. Ф. Город, в котором я хотел бы жить	60
Лаврентьев Б. Ф. Театр кукол в современном городе	66
Михадарова О. В. Алгоритм CORDIC в методе прямого цифрового синтеза сигналов	69
Рябова М. И., Овчинников В. В., Лащевский А. Р. Моделирование и обработка трёхмерных ионограмм вертикального и наклонного зондирования ВЧ радиоканалов	77
Шестакова Н. В., Буканова Т. С. Разработка структуры мехатронного модуля управления движением на базе электрических машин	83

ТРАНСПОРТ. ЭНЕРГЕТИКА. МАШИНОСТРОЕНИЕ

Алибеков С. Я., Сютова А. И., Кутонова Е. В.

Исследование сорбционных свойств углеродных волокнистых материалов.....89

Анисимов П. Н., Онучин Е. М.

Исследование утилизации тепловых выбросов энергогенерирующей установки с газогенераторным двигателем Стирлинга на древесном топливе 95

Багаутдинов И. Н., Грязин В. А., Кудрявцев И. А., Яблонский Р. В.

Тенденции в развитии экзоскелетов медицинского назначения 100

Бастраков В. М., Бербасов И. А.

Влияние качества материалов на эксплуатационные показатели замков.....105

Богатырев М. Д.

Электрическая установка ударного действия на основе резонанса напряжений..... 110

Вдовин С. Л., Никоноров К. Н., Соковнина А. А., Соковнина Е. А.

Устройство аварийной защиты гидроприводов от залповых утечек рабочей жидкости 115

Каменских А. Д., Медяков А. А.

Моделирование работы системы теплоснабжения животноводческого комплекса с каталитическим устройством сжигания 118

Соловьева Е. В., Довыденков В. А.

Свойства материалов на основе железа, полученных инфильтрацией с применением дополнительного легирования никелем и молибденом..... 124

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

Бородин А. В.

Строение множества рисков дискретных систем 130

Васяева Н. С., Скулкин М. Ф.

Сравнение различных искусственных нейронных сетей 135

Иванов К. В., Васяева Н. С.

Генерирование высокочастотного ШИМ-сигнала высокой разрядности.....140

Кошпаев А. А., Васяева Е. С.

Анализ и сравнение систем, реализующих протокол на основе справочника.....145

Малашкевич В. Б., Малашкевич И. А.

Элементы алгебры триплексных матриц 151

Малашкевич В. Б., Малашкевич И. А.

Совместное гауссовское распределение триплексных сигналов.....155

Русанова Н. В., Морохин Д. В.

Система измерения плотности древесины на основе микроконтроллера ATMEGA ..159

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Котлов В. Г., Иванова М. А., Макаров Р. А.

Результаты экспериментальных исследований образцов древесины при моделировании тепломассопереноса 165

Мирошин А. Н., Вайнштейн В. М., Москвина О. С.	
Поиск эффективной конструкции фундамента мелкого заложения	169
Никишов Ю. Г.	
Экспериментальное исследование работы электроталевого грейфера в производственных условиях Йошкар-Олинского кирпичного завода.....	173
Пенкин Ю. А., Попов В. А.	
Особенности архитектуры Тихвинской церкви в городе Йошкар-Оле как предмет охраны объекта культурного наследия	177
Поздеев А. Г., Кузнецова Ю. А.	
Вихревая модель плоской гидравлической струи, формируемой при сопряжении бьефов.....	183
Поздеев В. М., Сабанцев Ф. А., Калинин Д. И.	
Результаты испытания армобетонной балки с композитным армированием на длительное действие нагрузки	189
Салихов М. Г., Иливанов В. Ю., Федоров М. А.	
Старение модифицированного щебеночно-мастичного асфальтобетона с отходами дробления известняков при выдерживании в воде	194
Трошков Е. О.	
Испытания штепсельных стыков железобетонных колонн с плитами перекрытия при совместном действии продольных и поперечных сил	198
Хинканин Л. А., Хинканин А. П.	
Влияние теплотехнических неоднородностей на температуру внутренних поверхностей ограждающих конструкций в условиях конвективного и кондуктивного теплообмена	203

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ. ИНЖЕНЕРИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Андрианов Д. Ю., Фищенко П. А.	
Форма опасных зон при движении беспилотной транспортной платформы	209
Введенский О. Г.	
Совершенствование конструкций входных оголовков рыбопропускных сооружений	216
Введенский О. Г., Яровиков И. В.	
Рыбоохранный комплекс района подводного карьера «Заволжское» Чебоксарского водохранилища	223
Журавлев Е. А.	
Несингулярная математическая модель сферического маятника с подвижной точкой подвеса	229
Иванов В. В., Кузьмина О. В.	
Моделирование образования окиси азота NO в кинетических механизмах Я. Б. Зельдовича	235
Сведения об авторах	240

Научное издание

ТРУДЫ Поволжского государственного технологического университета



ВЫПУСК 5

Серия Технологическая

Ответственный за выпуск

Е. С. Шарапов

Редакторы

Л. С. Емельянова, П. Г. Павловская

Компьютерная верстка

С. Н. Эштыкова

Дизайн обложки

Е. С. Шарапов

Переводы на английский язык предоставлены
авторами статей

Подписано в печать 21.08.2017. Формат 60×84 ¹/₈. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 28,83. Тираж 500 экз. Заказ № 0000.

Поволжский государственный технологический университет
424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано в ООО Типография «Вертикаль»
424060 Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, ул. Мира, 21

ПРИГЛАШАЕМ К СОТРУДНИЧЕСТВУ

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» приглашает Вас опубликовать свои статьи в сборнике «Труды ПГТУ». Сборнику присвоен Международный стандартный номер сериального издания (ISSN). Материалы сборника постатейно отражаются в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

В сборнике публикуются 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:

- Заголовок (наименование публикации).
- Ф.И.О. авторов (с указанием места работы, должности, ученой степени, звания).
- 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 – 2 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; ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Статьи проходят редакционно-издательскую обработку. При необходимости принципиальных изменений правка согласовывается с автором.

Надеемся на взаимноинтересное сотрудничество.

Управление научной и инновационной деятельности
 Поволжского государственного технологического университета
 424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина 3, ПГТУ, ауд. 423а(1), т. 68-60-09,
 e-mail: ois@volgatech.net