

ISSN 2313-4372

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ВЫПУСК 9

Т Р У Д Ы

Поволжского государственного технологического университета

Серия Технологическая



Йошкар-Ола
2021

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
Войтко П. Ф., доктор технических наук, профессор
Иванов В. А., доктор физико-математических наук, профессор
Котлов В. Г., доктор технических наук, доцент
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 технологи-
Т 78 **ческого университета.** Сер.: Технологическая. Вып. 9 /
отв. и науч. ред. Д. В. Иванов. – Йошкар-Ола: Поволж-
ский государственный технологический университет,
2021. – 146 с. – ISSN 2313-4372.

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, 2021

ПРЕДИСЛОВИЕ



Ключевая роль науки в развитии государства и общества, исторически сложившееся у наших соотечественников стремление к творчеству и изобретательству, уходящие в глубину веков традиции исследовательской работы – все это позволяет сегодня успешно реализовывать инновационные программы развития страны.

Для поддержки и развития науки создан отдельный национальный проект. По результатам реализации нацпроекта «Наука», рассчитанного на 2019-2024 годы, Россия должна войти в пятерку мировых научных лидеров по приоритетным направлениям, уменьшить отток ученых за границу и повысить привлекательность отечественных вузов для иностранных ученых. Чтобы совершить технологический рывок и дать мощную поддержку науке на федеральном уровне, 25 декабря 2020 года Президент Российской Федерации Владимир Путин подписал Указ о проведении в 2021 году в России Года науки и технологий.

В последнее время в университете успешно развиваются фундаментальные и прикладные научные исследования – во многом благодаря мерам, предпринятым для сохранения интеллектуального ядра вуза и развития его инновационно-технологических структур: прежде всего, ведущих научных школ, научно-образовательных центров, лабораторий, совместных с учреждениями РАН, совместных с другими вузами диссертационных советов и сохранением собственных советов. Выполнено большое количество проектов: это исследования по грантам РФФИ, РНФ, Минобрнауки России, хозяйственная работа.

«Перезагрузка» вузовской науки, диктуемая не только цифровой трансформацией в России и мире, но и динамично меняющимся рынком труда, ставит перед Волгатехом задачу формирования эффективного университетского сектора исследований и разработок на принципиально новом качественном уровне. Разрабатываются новые подходы и практические решения в организации научной деятельности университета, обеспечивающие реализацию стратегии развития, связанную с тесным взаимодействием вузовской науки с академической для внедрения получаемых результатов в промышленность.

Одной из основных целей нашего университета является серьезная интеграция в экономику Республики Марий Эл через подготовку специалистов, создание высокотехнологичной научной продукции, востребованной рынком.

Пандемия COVID-19 внесла коррективы в международную научно-исследовательскую и изобретательскую активность наших ученых. Вместе с тем следует отметить, что вузу удается оставаться одним из научных центров, обеспечивающих

качественный рост числа публикаций в журналах, индексируемых в ведущих международных базах данных, а также российских изобретений.

Одним из важнейших достижений уходящего года является успешное прохождение вузом конкурсного отбора в рамках федеральной программы, направленной на развитие Центра коллективного пользования (ЦКП) «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей». Заявленный Волгатехом проект сфокусирован на комплексном оснащении ЦКП уникальным научным оборудованием в области рационального природопользования, в частности для изучения модельных карбоновых насаждений, неразрушающего контроля свойств и технического состояния конструкционных материалов, а также дистанционного зондирования Земли.

Планируемое для закупки оборудование позволит проводить высокотехнологичные исследования, строить образовательный процесс с использованием современных лабораторных комплексов, оказывать технологичные востребованные услуги. Проект рассчитан на 3 года, с финансированием по 25 млн рублей в год на закупку научно-исследовательского оборудования.

Этот выпуск «Трудов ПГТУ» отражает представленные на ежегодно проводимой в университете научной конференции «Исследования. Технологии. Инновации» результаты научно-инновационной деятельности профессорско-преподавательского состава, аспирантов и магистрантов вуза за 2021 год. Сборник традиционно состоит их двух серий: технологической и социально-экономической. Данная серия сборника – Технологическая. В ней публикуются статьи по следующим направлениям научных исследований:

- лес, экология и природопользование;
- транспорт, энергетика, машиностроение;
- радиотехнические, инфокоммуникационные и медико-биологические системы;
- 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 630*24:630*236:630*43

ВЛИЯНИЕ РУБОК УХОДА НА ФОРМИРОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЕЛОВО-ЛИСТВЕННЫХ МОЛОДНЯКОВ ПОСЛЕ ПОЖАРОВ 1972 ГОДА В ЕЛЬНИКЕ МЕЛКОТРАВНОМ

Иванов Александр Владимирович

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

Представлен анализ результатов количественной и качественной оценки состояния древостоев в послепожарных естественных елово-лиственных молодняках Республики Марий Эл после проведенных разных способов ухода за елью. Используемые различные способы ухода за хвойными породами выявили лесоводственную эффективность проведенных мероприятий: произошло увеличение ели в составе древостоя, рост среднего диаметра и высоты. В качестве практических рекомендаций производству предложен лучший метод ухода за елью в естественных молодняках на крупнейших гарях 1972 года – куртинное изреживание.

Ключевые слова: *гари; тип леса; куртинное, равномерное, полосное изреживание древостоев; рубки ухода; прочистка; молодняк; вид пожара.*

Введение. После крупных пожаров 1972 года в лесах Республики Марий Эл произошло возобновление естественным путем смешанных елово-лиственных насаждений, за которыми надо осуществлять уход, чтобы вырастить наиболее ценные еловые древостои. Актуальность рассматриваемой темы заключается в том, что на гарях уже через несколько лет после пожаров хвойные породы оказываются под пологом быстро растущих мягких лиственных пород и кустарников, что необходимо учитывать при ведении лесного хозяйства.

Как отмечает А. В. Марковский [2], мероприятия по воспроизводству лесов, особенно в многолесных районах таежной зоны (на которые приходится основные площади как вырубок, так и гарей и прочих погибших участков леса, в частности, от вспышек численности насекомых), оказываются безрезультатными. Выходом из сложившегося кризиса обеспечения лесозаготовительных и лесоперерабатывающих предприятий сырьем должно стать широкое внедрение модели интенсивного лесного хозяйства, основанной на принципах устойчивого развития и предполагающей грамотное проведение лесовосстановления, ухода за молодняками. Эта задача актуальна и для Пригородного районного лесничества Республики Марий Эл, так как в его лесном фонде достаточно много послепожарных насаждений, которым требуется своевременный уход.

Цель работы – анализ эффективности разных способов ухода в послепожарных естественных елово-лиственных молодняках, возникших на гарях 1972 года в Старожильском участковом лесничестве РМЭ.

Решаемые задачи – исследовать влияние разных способов ухода на состав, густоту, размещение пород по площади, строение полога, развитие кроны и другие показатели в послепожарных естественных елово-лиственных насаждениях.

Характеристика опытного участка с проведением на нем разных методов ухода с различной интенсивностью

Опытный участок в березняке чернично-мелкотравном на площади 0,8 га заложен сотрудниками Марийского опорного пункта Татарской ЛОС ВНИИЛМа К. К. Калининым и А. В. Ивановым [1] в кв. 122 Старожильского участкового лесничества Пригородного районного лесничества Республики Марий Эл в 12-летнем молодняке, сформировавшемся на месте погибшего после устойчивого низового пожара 1972 года спелого елового древостоя состава 8Е1С1Б, 80 лет, 2 бонитета. Рельеф ровный. Микрорельеф выражен слабо. Почва сильноподзолистая супесчаная, влажная, подстилаемая на 1 м суглинком. Таксационная характеристика молодняка на опытном участке и интенсивность рубки по секциям представлены в таблице.

Таксационная характеристика древостоя постоянной пробной площади, заложенной на участке рубок ухода в ельнике мелкотравном: 1984 год – числитель, 2012 год – знаменатель

№ секции	Ярус	Состав древостоя по числу деревьев	Густота, тыс. шт. /га		Запас, куб/ га		Средняя высота, см					Интенсивность рубки, %	
			лиственных	хвойных	лиственных	хвойных	ель	сосна	береза	осина	ива	по запасу	по числу деревьев
№ 1 Химический уход	1 2	9Б1Ив ед.Ос 7Б2Е1С	47,2/ 3,8	6,2/ 5,1	47,8/ 14,5	0,1/ 58,1	0,7/ 14,0	0,9/ 16,0	5,5 2,5/ 17,0	4,7 -	5,6 -	87,4	37,5
№ 2 Контроль	1 2	9Б1Ив + Ос 6Б2Е2С ед. Ос	50,6/ 2,3	8,8/ 10,5	37,1/ 19,4	0,2/ 78,4	0,7/ 9,0	0,7/ 8,0	5,0 2,5/ 16,0	4,9 2,1	3,3 -	80,1	68,8
№ 3 Кулиса – 6 м Вырубная полоса – 6 м	1	10Б +Ос,Ив 5Б3Е2С	45,8	11,9	53,8	0,3	- 0,7 -	- 0,7 -	5,3 2,3 -	5,0 -	3,7 -	52,6	42
	2	10Б ед.Ос,Ив 5Б3Е2С	52,7/ 2,0	6,8/ 5,0	54,1/ 21,8	0,1/ 50,9	0,7/ 14,0	0,7/ 8,0	- -/	- 7,0	-		
№ 4 Кулиса – 6,0 м Вырубная полоса – 3,0 м	1	10Б + Ос,Ив 6Б2Е2С	43,6	6,3	42,5	0,1	- 0,7 -	- 0,7 -	5,4 2,4 -	5,2 -	3,8 -	38	35,6
	2	10Б + Ос 5Б3Е2С	45,9/ 1,9	7,0/ 5,0	43,1/ 18,2	0,1/ 42,4	0,7/ 16,0	0,7/ 10,0	- -/	-	=		

Окончание таблицы

№ секции	Ярус	Состав древостоя по числу деревьев	Густота, тыс. шт./га		Запас, куб/га		Средняя высота, см					Интенсивность рубки, %	
			Лиственный	Хвойных	Лиственный	Хвойных	Ель	Сосна	Береза	Осина	Ива	по запасу	по числу деревьев
№5 Кулиса – 6 Вырубная полоса – 4	1	10Б + Ос,Ив 4Е34С3Б	30,0	10,7	40,8	0,2	-	-	5,4	4,8	3,9	37,6	27,9
	2	ед. Ос 10Б ед.Ос,Ив 4Е4Б2С ед. Ос	45,9/ 6,2	11,9/ 7,6	48,8/ 19,4	0,2/ 77,5	0,7/ 14,0	0,8/ -	2,0 -/	2,0 6,0	- -		
№ 6 Равномерное изреживание	1	9Б1ИВ + Ос	49,5/ 2,1	9,2// 5,6	38,7/ 22,5	0,2/ 50,9	-	-	5,2	4,9	3,7	49,7	42,2
	2	6Б2Е2С					0,7/ 16,0	0,8/ 12,0	2,6/ 14,0	-/ 15,0	-		
№ 7 Куртинное изреживание	1	10Б + Ос,Ив	44,9/ 0,9	7,3/ 5,6	50,5/ 9,5	0,2/ 85,0	-	-	5,3	4,6	3,5	31,8	27,5
	2	6Б3Е1С					0,7/ 14,00	0,7/ 15,0	2,3/ 12,0	-	-		

Живой напочвенный покров средней густоты (покрытие в среднем 53 %), доминантами его являются вейник тростниковидный, иван-чай. Покрытие моховым покровом небольшое (14 %), представлен он в основном кукушкиным льном обыкновенным.

Сомкнутость лиственного молодняка со средней высотой в верхнем пологе 5,0 м составляет 0,7-0,8, местами 1,0. Во втором ярусе находится густой (6,2-11,9 тыс.шт./га) и довольно равномерно размещенный (встречаемость 80 %) хвойный подрост с преобладанием ели (61 %). Хвойный подрост на 90 % затенен, имеет поникший прирост, средняя высота его равна 0,7 м.

Учитывая равномерное и довольно большое количество хвойных пород, на трех секциях применен полосный метод ухода, при котором вырубленные полосы лиственных пород (шириной 3, 4 и 6 м) чередуются с вырубленными кулисами шириной 6 м. Предполагается за счет бокового освещения кулис значительно улучшить рост сосны и ели в них, а рубку лиственных пород проводить при возможности получения деловой древесины. Заложены на опытном участке также секции с химическим уходом (путем инъекции в стволы лиственных пород аминной соли 2,4-Д с помощью аппарата «Кобра»), гнездовым уходом и сильным размежеванием лиственного полога (с вырубкой в верхнем пологе до 50 % лиственных пород).

Повторное исследование проведено в 40-летних молодняках на опытном участке с проведенными на нем разными методами ухода и различной интенсивности. При исследовании заложили учетные площадки в виде секций размером $2 \times 2 = 4 \text{ м}^2$, из расчета главной породы ели на учетной секции не менее 200 деревьев.

Анализ результатов исследования в секции № 1 с химическим уходом.



Рис. 1. Состояние насаждения в секции № 1 с проведенным химическим уходом аппаратом «Кобра»

В данной секции средний диаметр составил 10,8 см; средняя высота – 14 м; сумма площадей сечения 17,7; запас – 72,7 куб. м/га. Полнота – 0,73, неравномерная. Класс бонитета – 2. Состав на секции 6Е2С2Б

Живой напочвенный покров сильного развития не получил из-за достаточной сомкнутости и представлен следующим образом: зеленые мхи – 15 %; костяника до 10 %; вейник наземный – 9 %.

За 28 лет густота у сосны не изменилась; отпад ели не произошел, а увеличился ее состав в древостое на 14 %; осина из состава древостоя выпала полностью; береза уменьшилась в составе на 90 %.

Распределение числа стволов по ступеням толщины отличается от нормального распределения в сторону самой наибольшей ступени 14 см.

Распределение числа стволов ели по Крафту – преобладают 1 и 4 классы; сосны – 1 и 2 класса.

Анализ контрольной секции № 2

В подлеске редко встречается крушина. Живой напочвенный покров сильного развития не получил из-за достаточной сомкнутости и представлен мхом Шребера – 20 %, ландышем – 5 %, орляком до 10 %, вейником тростниковидным – 10 %. Средний диаметр составил 9,1 см; средняя высота – 11 м; сумма площадей сечения 23,6 м²; запас – 96,9 м³/га. Полнота – 0,73, неравномерная. Класс бонитета – 2. Состав на секции на 12-й год после пожара был у 2-го яруса 6Б2Е2С ед.Ос, а в 40-летних молодняках стал 8Е2Б ед.С. Ос. (см. таблицу).

За 28 лет произошли следующие изменения по густоте: произошел отпад сосны на 88 %; отпада ели на контроле не произошло, а увеличился состав ели в древостое на 5 единиц; осина из состава древостоя выпала полностью; береза уменьшилась в составе в 5 раз. Распределение числа стволов по ступеням толщины отличается от нормального

распределения в сторону самой наименьшей ступени 6 см. В распределении числа стволов по Крафту преобладают 1, 2 и 4 классы.

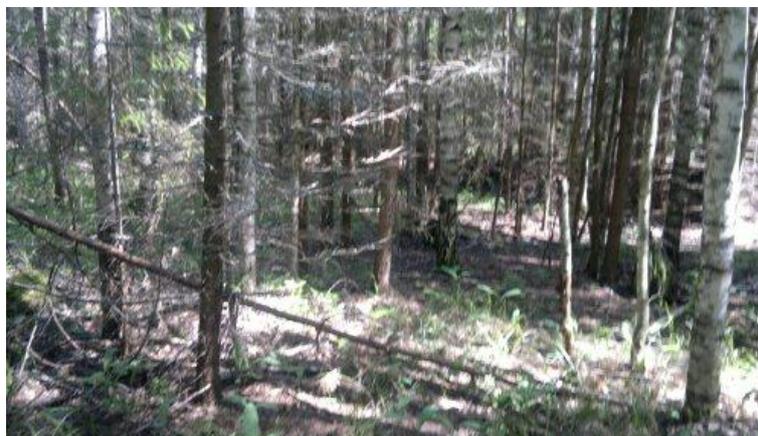


Рис. 2. Насаждения в секции № 2 – контроль

Анализ секции № 3 (6 м – кулиса и 6 м – вырубаемая полоса). В подлеске редко встречается липа высотой 0,5 м. Живой напочвенный покров сильного развития не получил из-за достаточной сомкнутости и представлен так: мох Шребера встречается по пням – 20 %; орляк – до 10 %; вейник тростниковидный – 10 %; хвощ – 3 %; ландыш – 2 %. Состав сосны в древостое изменился и увеличился на 2 единицы; отпада ели не произошло, а увеличился ее состав в древостое на 3 единицы; состав осины и березы в древостое уменьшился.



Рис. 3. Насаждения в секции № 3 – кулиса

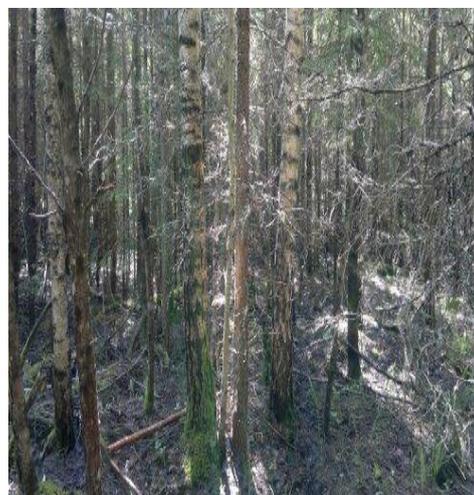


Рис. 4. Насаждения в секции № 3 – вырубаемая полоса – 6 м

Средний диаметр составил 11,3 см; средняя высота – 15 м (см. таблицу); сумма площадей сечения 17,7; запас – 72,7 куб. м/га. Полнота – 0,73, неравномерная. Класс бонитета – 2. Состав на секции 6Е2Б1С1Ос. В подлеске редко встречается крушина. Распределение числа стволов по ступеням толщины соответствует нормальному распределению. В распределении числа стволов ели по Крафту преобладает 1 класс. Сосна – 2 класс.

Анализ секции № 4 (6 м – кулиса и 3 м – вырубаемая полоса). В подлеске редко встречается крушина. Живой напочвенный покров сильного развития не получил из-за достаточной сомкнутости и представлен таким образом: майник двухлистный – 2 %; ландыш – 2 %, сочевичник весенний – 2 %.



Рис. 5. Насаждения в секции № 4 – вырубаемая полоса – 3 м



Рис. 6. Насаждения в секции № 4 – кулиса

В данной секции средний диаметр составил 12,1 см; средняя высота – 16 м; сумма площадей сечения 14,75; запас – 60,6 куб. м/га. Полнота – 0,73, неравномерная. Класс бонитета – 2. Состав сосны в древостое изменился и увеличился на 2 единицы, отпада ели не произошло, увеличился ее состав в древостое на 5 единиц; осина из состава древостоя выпала полностью; береза уменьшилась в составе на 95 %. В целом формула состава на секции определилась 5ЕЗБ2С. Распределение числа стволов по ступеням толщины соответствует нормальному распределению. В распределении числа стволов ели по Крафту – преобладает 1 класс. Сосна – 2 класс.

Анализ секции № 5 (6 м – кулиса и 4 м – вырубаемая полоса). В подлеске редко встречается липа высотой до 3 м. Живой напочвенный покров сильного развития не получил из-за высокой сомкнутости полога и представлен так: костяника – 2 %; сочевичник весенний – 5 %; кукушкин лен – отдельными вкраплениями. Отпад березы – на 8-10 %.



Рис. 7. Состояние насаждения в секции № 5

Средний диаметр древостоя составил 9,1 см; средняя высота – 14 м; сумма площадей сечения 23,6; запас – 96,9 куб. м/га. Полнота – 0,73, неравномерная. Класс бонитета – 2. Сосна из состава древостоя выпала полностью; отпада ели не произошло, состав ее увеличился в древостое на 4 единицы, осина и береза уменьшились в составе. Состав на секции оказался 8Е1Б1Ос. Распределение числа стволов по ступеням толщины соответствует нормальному распределению. В распределении числа стволов ели по Крафту преобладает 2 класс.

Анализ секции № 6 с равномерным изреживанием, интенсивностью 50 %. Средний диаметр составил 10,8 см; средняя высота – 14 м (см. таблицу); сумма площадей сечения 17,7; запас – 72,7 куб. м/га. Полнота – 0,73, неравномерная. Класс бонитета – 2. Состав сосны уменьшился на 18 %; ель увеличила состав в древостое на 4 единицы; береза уменьшилась в составе в 2 раза. Состав на секции сформировался 6ЕЗБ1С ед.Ос. Живой напочвенный покров сильного развития не получил из-за достаточной сомкнутости и представлен мхом Шребера – 20 %; орляком – до 10 %; вейником тростниковидным – 2 %. В подлеске редко встречается крушина.

Распределение числа стволов по ступеням толщины соответствует нормальному распределению. В распределении числа стволов ели по Крафту преобладает 2 класс. Сосна – 3.



Рис. 8. Состояние насаждения в секции № 6

Анализ секции № 7 (с куртинным изреживанием). В подлеске редко встречается липа, наклонена высотой 4,5 м, на 1 га насчитывается 100 штук. Живой напочвенный покров в окнах: вейник тростниковидный – 60 %; костяника – 5 %; ландыш – 5 %; черника – 5 %; майник двухлистный – 2 %; мох Шребера – 20 %; орляк – до 10 %, вейник наземный и др.

В подлеске редко встречается крушина. Средний диаметр составил 10,9 см; средняя высота – 14 м; сумма площадей сечения 20,7; запас – 84,7 куб. м/га. Полнота – 0,73, неравномерная. Класс бонитета – 2. Отпада ели не произошло, а доля участия ее в составе древостоя увеличилась на 7 единиц, осина и береза уменьшились в составе в 10 раз.

Состав на секции получился 7ЕЗБ ед.Ос.

Распределение числа стволов по ступеням толщины соответствует нормальному распределению. В распределении числа стволов ели по Крафту преобладает 1 класс.



Рис. 9. Состояние насаждения в секции № 7

Выводы. Лесоводственная эффективность методов ухода в елово-лиственных насаждениях, сформировавшихся на горях после пожаров 1972 года, выражается в улучшении экологических условий произрастания хвойных пород. Улучшается световой режим, наблюдается положительное влияние на повышение температуры корнеобитаемого слоя почвы на дренированных участках после удаления деревьев лиственных пород, а также меняются скорость ветра, количество осадков, поступающих в почву и другое.

Проведенные разными методами прочистки привели к тому, что произошло качественное изменение состава, доля ели в нем по всем секциям с уходом увеличилась на 50 %, а в секции № 5 – на 30 %, но чтобы сохранить и увеличить долю ели в составе древостоя, необходимо впоследствии производить другие виды рубок ухода с определенным процентом изреживания, не нанося вреда насаждению.

В секциях № 1, 3, 4, 5, 6, 7, где были проведены рубки ухода преобладают деревья 1, 2 и 4 классов Крафта, а в контрольной секции также преобладают деревья 1, 2, и 4 классов Крафта.

Получилась разница по приростам в высоту и приростам по диаметру между контролем и секциями, где были проведены уходы. Если на контроле преобладает большое число стволов мелкой ступени – 6 см, то в секциях наблюдается значительное число стволов высокой ступени толщины – 10-14 см, а также крупные деревья с диаметром 16, 22 см в секциях № 3, 4, 6, 7. Средняя высота на контроле – 10 м, а в секциях – 15 м.

В секциях, где проводился химический уход, равномерное изреживание интенсивностью 50 %, куртинное изреживание, вырубались полосы 6 м, 4 м и 3 м, с оставленными кулисами 6 м – наилучший результат наблюдается на секции № 7, где проводилось куртинное изреживание. В этой секции 39,3 % деревьев 1 класса Крафта и 32,1 деревьев 2 класса Крафта, а деревьев 4 и 5 классов – всего 7,2 %. Преобладают диаметры

в 10, 12 и 14 см. По размерам вырубаемых полос и оставляемых кулис можно сделать предварительный вывод о том, что наиболее удачная секция такова: ширина кулисы – 6 м, а вырубемая полоса – 4 м. В вырубленных полосах шириной 6 м и 3 м наблюдается поросль осины и самосева березы.

Практические рекомендации. На основании анализа результатов проведенных исследований можно констатировать, что за естественными сформировавшимися молодняками нужно своевременно и целенаправленно проводить необходимые мероприятия по уходу.

В исследованных молодняках ели в чернично-мелкотравном типе леса практически большая часть деревьев ели (60-70 %) находится в затененном состоянии, а количество лиственных пород составляет от 30 % и более, поэтому для повышения прироста ели необходимо провести проходные рубки с уборкой мешающих росту ели лиственных пород, а также вырубить деревья с ступенями толщины 6-8, которые мешают росту, перехватывают питательные вещества у перспективных хорошего роста деревьев ели.

Применение разных методов ухода за елью выявило для практических целей лесоводственную эффективность проведенных мероприятий (произошло увеличение в составе древостоя ели среднего диаметра и высоты), а также позволило рекомендовать производству лучший метод ухода за елью в естественных молодняках на крупнейших гарях 1972 года – это куртинное изреживание.

Список литературы

1. Калинин К.К. Отчет по хозяйственной теме № 232/223 «Изучение особенностей формирования молодняков на гарях 1972 года с разработкой различных способов мер ухода за главными лесообразующими породами» / Руководитель темы и ответственный исполнитель канд. с.-х. наук. К. К. Калинин, исполнитель с. н. с. А.В. Иванов. – Казань, 1985. – С. 16-18.
2. Рубки ухода в молодняках: как построить лесохозяйственное предприятие. Практическое руководство / А. В. Марковский, А. В. Родионов; Лесная территория. – Москва: Всемирный фонд дикой природы (WWF России), 2018. – 51[1] с.

THE INFLUENCE OF CARE CUTTERS ON THE FORMATION OF NATURAL SPRUCE-LEAFY YOUNG CHILDREN AFTER THE FIRES OF 1972 IN THE MALKOTRAVNOE ELNIK

Ivanov Alexander Vladimirovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

A quantitative and qualitative assessment was carried out in natural spruce-deciduous young stands after firefighters after different methods of spruce care were carried out. The different ways of caring for conifers revealed the silvicultural efficiency of the measures taken, there was an increase in the composition of spruce, average diameter and height, and the best method of caring for spruce in natural young stands on the largest burned-out areas of 1972 was proposed.

Keywords: *burning; forest type; uniform; strip thinning of stands; thinning; cleaning; young growth; type of fire.*

УДК 630*848

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ГРУЗОВ ГРАВИТАЦИОННЫМ ТОРЦЕВЫРАВНИВАТЕЛЕМ НА ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ С РЕЙДАМИ ПРИПЛАВА

Рощина Марина Михайловна, Войтко Петр Филиппович

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

Приведены результаты имитационного моделирования процесса формирования лесных грузов гравитационным торцевыравнивателем К-142М на лесопромышленных предприятиях с рейдами приплава г. Архангельска. Составлены общие схемы имитационных моделей лесоперевалочных процессов выгрузки пучков бревен с воды на лесовозный транспорт в различных программных средах: 1) вода–эстакада–торцевыравниватель–вагон AnyLogic 7.3.7 Personal Learning Edition; 2) вода–эстакада–автопоезд AnyLogic 8.1.0 Personal Learning Edition; 3) вода–эстакада–торцевыравниватель–автопоезд AnyLogic 7.3.7 Personal Learning Edition.

Ключевые слова: имитационное моделирование; формирование лесных грузов; гравитационный торцевыравниватель; лесопромышленное предприятие; рейд приплава.

Введение

Задача моделирования лесотранспортных систем [1] актуальна для лесопромышленных предприятий лесного комплекса России [2], получающих древесное сырье различными видами транспорта: автомобильным – 55 %; железнодорожным – 39 %; водным – 6 % [3].

Существующие конструкции тороцевыравнивающих устройств имеют ряд недостатков, которые сдерживают рост производительности труда на лесопромышленных складах и не обеспечивают безопасность лесоперевалочных работ.

Целью работы является исследование возможности использования пакета Pilgrim при моделировании процесса формирования лесных грузов гравитационным торцевыравнивателем К-142М на лесопромышленных предприятиях с рейдами приплава.

Объектом моделирования выступают лесопромышленные склады на рейдах приплава лесопромышленных предприятий г. Архангельска, оснащенные грузоподъемными машинами, торцевыравнивателями, лесовозным транспортом: автомобильным, железнодорожным, речными или морским.

Предметом исследования являются режимы нагружения грузоподъемных машин и торцевыравнивателя К-142М для погрузки круглых лесоматериалов на лесовозный транспорт.

Основные *задачами имитационного моделирования* процесса формирования лесных грузов на лесопромышленных предприятиях:

1) разработка технологического процесса выгрузки лесных грузов с воды реки Северная Двина для погрузки на лесовозный транспорт лесопромышленных предприятий г. Архангельска;

- 2) расчет производительности механизмов лесоперевалочного процесса;
- 3) имитационное моделирование процесса формирования лесных грузов на рейдах приплыва лесопромышленных предприятий.

Описание моделируемого процесса. Древесное сырье поставляется на Архангельские лесопромышленные предприятия по реке Северная Двина водным транспортом в речных плотах габаритом 335×42 м двух типов: 1) по большой воде весеннего паводка объемом 8320 м³, количеством пучков бревен 832, объемом пучков 10 м³ каждый в течение 20 дней с 01.05 по 20.05; 2) по малой воде летней межени объемом плота 6240 м³, количеством пучков 1248, объемом 5 м³ в течение 165 дней с 21.05 по 01.11 [3, 4].

Для приема речных плотов лесопромышленные предприятия организуют рейды приплыва на лесосплавной реке, где производят постановку речных плотов на приколы, расформировку их на секции габаритами 82×21×1 м и выгрузку пучков бревен с воды на берег лесной баржи различными грузоподъемными механизмами по следующим технологическим схемам: вода–эстакада–автопоезд (ВЭА); вода–эстакада–торцевыравнитель–автопоезд (ВЭТА), вода–эстакада–торцевыравнитель–вагон (ВЭТВ); вода–эстакада–штабель (ВЭШ); вода–эстакада–торцевыравнитель–штабель (ВЭТШ).

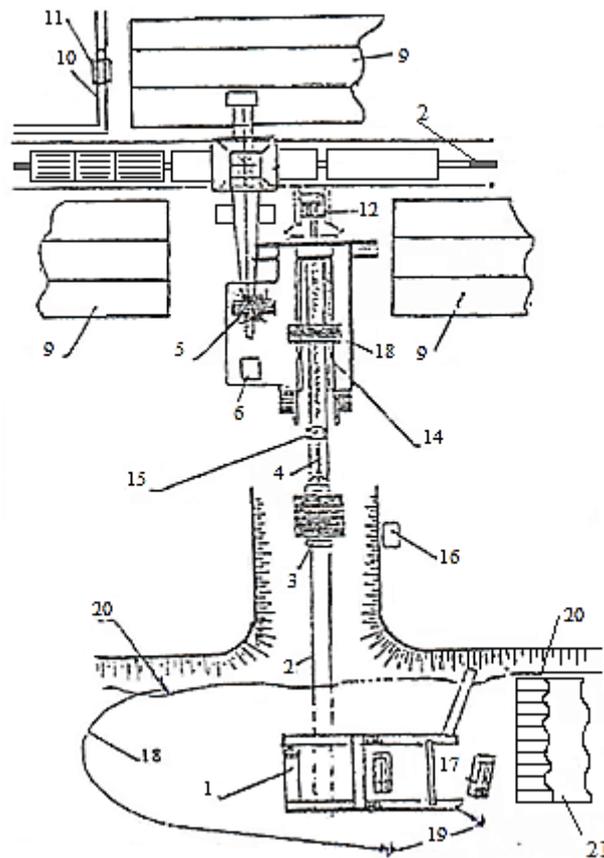


Рис. 1. Технологическая схема выгрузки круглых лесоматериалов в пучках из реки М. Северная Двина на Болгинской ЛПБ: 1 – выгрузочный дворик; 2 – рельсовый путь; 3 – грузовая тележка К-125; 4 – трособлочная система; 5 – карман-накопитель; 6 – бухта проволочных обвязок; 7 – торцевыравнитель К-142М; 8 – кран башенный КБ-572Б; 9 – штабель круглых лесоматериалов; 10 – автодорога; 11 – автопоезд КамАЗ-5320+ГКБ-8350; 12 – лебедка Л-71Б; 13 – приемная эстакада; 14 – разгрузочно-растаскивающее устройство РРУ-10М; 15 – вспомогательная тележка; 16 – кабина управления; 17 – пучок бревен; 18 – молеуловитель; 19 – якорное крепление; 20 – береговая опора; 21 – секция плота

Разработана универсальная технологическая схема выгрузки пучков круглых лесоматериалов с воды на рейдах приплава лесопромышленных предприятий: ОАО «Болтинская ЛПБ» и ОАО «Лимендская ЛПБ» (рис. 1). Основными механизмами технологической схемы являются: бремсберг К-125 грузоподъемностью 24 м³ для подъема четырех пучков бревен с воды на разгрузочную эстакаду; разгрузочно-растаскивающее устройство РРУ-10М; башенный кран КБ-572Б грузоподъемностью 10 т для перегрузки двух пучков бревен; гравитационный торцевыравниватель К-142М грузовойместимостью 12,4 м³ для формирования пакетов круглых лесоматериалов; лесовозный автопоезд КамАЗ-53212 с прицепом ГКБ-8350 грузовойместимостью 25 м³, железнодорожный вагон грузовойместимостью 70 м³.

Математическое моделирование. Для наиболее распространенной технологической схемы вода–эстакада–торцевыравниватель–автопоезд выполнен расчет производительности используемых грузоподъемных механизмов: бремсберга К-125, башенного крана КБ-572Б; гравитационного торцевыравнивателя К-142М.

1. Сменная производительность бремсберга К-125 для подъема пучков круглых лесоматериалов с воды на приемную эстакаду выразится формулой

$$П_{см}^6 = \frac{TV_n K_m K_p}{t_{ц}^6} = \frac{420 \cdot 20 \cdot 0,9 \cdot 0,8}{6,48} = 933,3 \text{ м}^3/\text{см}, \quad (1)$$

где T – продолжительность смены 420 мин.; V_n – объемы пучка, м³; K_m – коэффициент, учитывающий использование грузоподъемности тележки, $K_m = 0,9$; K_p – коэффициент, учитывающий неравномерность подачи пучков к выгрузочному дворику, $K_p = 0,8$; $t_{ц}^6$ – продолжительность 1 цикла бремсберга, мин.

Объемы пучков, загружаемых на грузовую тележку бремсберга К-125 зависят от периода навигации на реках бассейна Северной Двины и составят:

- летом $V_{п1} = n_1 \cdot W_1 = 4 \cdot 5 = 20 \text{ м}^3 \leq W_{гт}; \quad (2)$

- весной $V_{п2} = n_2 \cdot W_2 = 2 \cdot 10 = 20 \text{ м}^3 \leq W_{гт}; \quad (3)$

где n_1, n_2 – количество пучков круглых лесоматериалов, загружаемых на грузовую тележку летом или весной; W_1, W_2 – объемы пучков, поставляемых на рейд приплава в I и II периоды навигации; $W_{гт}$ – грузовойместимость грузовой тележки бремсберга К-125, $W_{гт} \leq 24 \text{ м}^3$.

Продолжительность цикла выгрузки 4 пучков бревен с воды на эстакаду бремсбергом К-125 [3, 4]

$$t_{ц}^6 = t_1 + t_2 + t_3 = 62 + 109 + 218 = 389 \text{ с} = 6,48 \text{ мин}, \quad (4)$$

где t_1 – время опускания грузовой тележки в воду выгрузочного двора от приемной эстакады, $t_1 = 62 \text{ с}$; t_2 – время подгонки пучков бревен в выгрузочный дворик и подачи их на грузовую тележку, $t_2 = 109 \text{ с}$; t_3 – время подъема пучков бревен с воды на приемную эстакаду бремсбергом, $t_3 = 218 \text{ с}$.

2. Сменная производительность башенного крана КБ-572Б на перегрузке пучков бревен с приемной эстакады в гравитационный торцевыравниватель К-142М, а затем на автопоезд КамАЗ-53212+ГКБ-8350 находится по выражению

$$P_{\text{см}}^{\text{к}} = \frac{TV_{\text{г}}^{\text{к}}K_1K_2}{t_{\text{ц}}^{\text{к}}} = \frac{420 \cdot 10 \cdot 0,9 \cdot 0,85}{4,6} = 698 \text{ м}^3/\text{см}, \quad (5)$$

где T – продолжительность смены 420 мин; $V_{\text{г}}^{\text{к}}$ – допустимый объем пачки круглых лесоматериалов, м^3 (для крана КБ-572Б грузоподъемностью 10 т при работе с грейфером ЛТ-153 $V_{\text{г}}^{\text{к}} = 8,5 \text{ м}^3$, со стропами $V_{\text{г}}^{\text{к}} = 12,4 \text{ м}^3$; K_1 – коэффициент использования грузоподъемности крана: при захвате лесоматериалов грейфером $K_1 = 1,0$, а стропами – $K_1 = 0,9$; K_2 – коэффициент, учитывающий неравномерность подачи пучков, $K_2 = 0,85$; $t_{\text{ц}}^{\text{к}}$ – продолжительность цикла башенного крана, мин.

Продолжительность цикла перегрузки краном пучков бревен с приемной эстакады в гравитационный торцевыравниватель К-142М, а затем на автопоезд КамАЗ-53212+ГКБ-8350 (см. рис. 1) такова:

$$t_{\text{ц}}^{\text{к}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9 + t_{10} + t_{11} + t_{12} + t_{13} + t_{14} = \quad (6)$$

$$= 32 + 11 + 35 + 11 + 14 + 18 + 32 + 12 + 7 + 32 + 11 + 36 + 11 + 14 = 276 \text{ с} = 4,6 \text{ мин},$$

где t_1 – перемещение крана к эстакаде на расстояние 15 м совмещается с перемещением грузовой тележки, $t_1 = 32 \text{ с}$; t_2 – опускание грузового крюка со стропами на эстакаду с высоты 4,5 м, $t_2 = 11 \text{ с}$; t_3 – захват двух пучков бревен стропами на эстакаде и снятие четырех проволочных обвязок с пучков, $t_3 = 35 \text{ с}$; t_4 – подъем краном двух пучков с эстакады на высоту 4,5 м, $t_4 = 11 \text{ с}$; t_5 – перемещение грузовой тележки крана от эстакады до торцевыравнивателя К-142М, $t_5 = 14 \text{ с}$; t_6 – опускание двух пучков в торцевыравниватель на высоту 5 м, $t_6 = 18 \text{ с}$; t_7 – выравнивание торцов бревен в торцевыравнивателе К-142М, $t_7 = 32 \text{ с}$; t_8 – подъем лесного груза краном из торцевыравнивателя на высоту 5 м, $t_8 = 12 \text{ с}$; t_9 – поворот стрелы крана на 145° , $t_9 = 7 \text{ с}$; t_{10} – перемещение крана КБ-572Б к автопоезду на расстояние 15 м, $t_{10} = 32 \text{ с}$; t_{11} – опускание краном лесного груза на коники автопоезда КамАЗ-53212+ГКБ-8350 на высоту 4,5 м, $t_{11} = 11 \text{ с}$; t_{12} – отцепка строп с лесного груза на автопоезде, $t_{12} = 36 \text{ с}$; t_{13} – подъем грузового крюка со стропами на высоту 4,5 м, $t_{13} = 11 \text{ с}$; t_{14} – поворот стрелы крана на 90° , $t_{14} = 14 \text{ с}$.

Вычислим продолжительность цикла освобождения четырех пучков бревен с эстакады башенным краном и погрузки на автопоезд:

$$t_0^3 = t_{\text{ц}}^{\text{к}} \cdot n_n = 4,6 \cdot 2 = 9,2 \text{ мин}, \quad (7)$$

где n_n – количество циклов перегрузки краном четырех пучков с эстакады на автопоезд.

Сравнивая продолжительность цикла выгрузки четырех пучков бревен с воды на эстакаду бремсбергом К-125 ($t_{\text{ц}}^3 = 6,48 \text{ мин}$) с продолжительностью цикла освобождения четырех пучков с эстакады краном КБ-572Б на автопоезд ($t_0^3 = 9,2 \text{ мин}$), видим недостаточную производительность выбранного крана КБ-572Б по технологической схеме «вода–эстакада–торцевыравниватель–автопоезд».

Имитационное моделирование процесса. Для совершенствования лесоперевалочного процесса выгрузки пучков круглых лесоматериалов с воды на лесопромышленных предприятиях с рейдами приплава использованы методы объективно-ориентированного программирования и имитационного моделирования в системе Pilgrim [5-8].

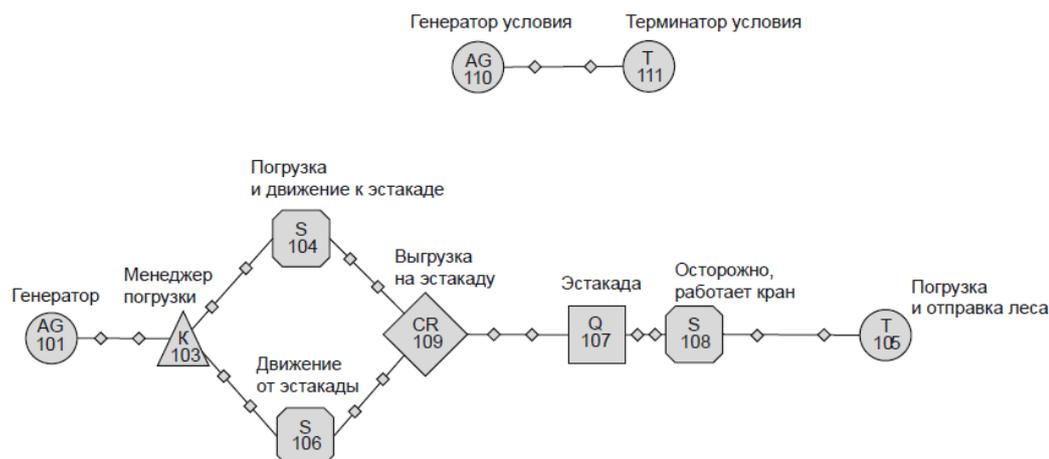


Рис. 3. Граф имитационной модели «На рейде приплава»

В качестве критерия оптимизации приняты показатели абсолютной производительности грузоподъемного оборудования и относительной эффективности системы Pilgrim.

Выполнен расчет времени, за которое речные плоты будут полностью выгружены с воды на берег по трем технологическим схемам лесопромышленного предприятия: ВЭА, ВЭТА, ВЭТВ (см. таблицу).

Результаты имитационного моделирования лесоперевалочных процессов на рейдах приплава лесопромышленных предприятий

Наименование	Результаты				
	ВЭТВ	ВЭА		ВЭТА	
Схема лесоперевалочного процесса					
Объем речного плота, м ³	6240	6240	8320	6240	8320
Количество пучков в плоту, шт.	1248	1248	732	1248	832
Средний объем пучка бревен, м ³	5	5	10	5	10
Время полной разгрузки плота, ч	60,5	45,5	45,1	45,5	53,3
За смену (7 ч) выгружено пучков	144	246	128	190	109
Среднее время пути тележки от эстакады до берега, с	62	62	62	62	62
Среднее время пути тележки от берега до эстакады, с	456	344	327	461	398
Среднее время пути тележки от берега до эстакады (без ожидания), с	327	327	327	327	327
Среднее время ожидания тележкой освобождения эстакады, ч	129	17	10	134	71
Средняя продолжительность цикла работы тележки, с	565	406	389	523	460
Средняя продолжительность цикла работы тележки, при условии отсутствия ожидания разгрузки крана, с	389	389	389	389	389
Среднее время погрузки краном, с	357	203	178	262	230
Производительность бремсберга (фактическая), м ³ /см	703	893	933	693,6	788,5
Производительность бремсберга (расчетная), м ³ /см	933	933	933	933	933
Производительность крана (фактическая), м ³ /см	540	951	1082	735,2	838,9

Следовательно, производительность лесотранспортного оборудования на выгрузке пучков бревен объемом 5 м³ с воды лесосплавной реки Северная Двина на рейде приплава лесопромышленного предприятия Болтинской ЛПБ по технологической схеме «вода–эстакада–торцевыравниватель–автопоезд» составила: бремсберга К-125 – 693,6 м³/см; башенного крана КБ-572 Б с гравитационным торцевыравнивателем К-142М – 735,2 м³/см.

Выводы

Разработанные имитационные модели прогнозирования лесоперевалочных процессов в программной среде Any Logic 7.3.7. Personal Learning Edition позволили не только проследить полный цикл лесоперевалочных работ на рейдах приплава лесопромышленных предприятий г. Архангельска, но и рассчитать затраты времени на использование различных технологических схем выгрузки древесного сырья с воды, поступающего в речных плотках по реке Северная Двина.

Список литературы

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года: утв. распоряжением правительства РФ от 22.11.2008 № 1734-Р (в редакции от 11.07.2014, № 1032-З).
2. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года: утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 февраля 2021 г. № 312-р.
3. Камусин А.А. Транспорт лесных грузов по внутренним водным путям: монография / А. А. Камусин, Г. Я. Суров, П. Ф. Войтко / под общ. ред. проф. А.А. Камусина. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. – 470 с.
4. Войтко, П.Ф. Транспорт леса. Совершенствование лесоперевалочных процессов на рейдах приплава: учебное пособие / П.Ф. Войтко. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – 304 с.
5. Перспективы использования имитационного моделирования при прогнозировании социально-экономического развития региона / Т. Баркалова, Т. Кокоткина, Е. Васильева, Д. Беспалов, Е. Царегородцев // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2016. – № 9. – С. 44-59.
6. Емельянов, А. А. Имитационное моделирование экономических процессов: учебное пособие / А. А. Емельянов, Е. А. Власова, Р. В. Дума. – Москва: Финансы и статистика, 2006. – 250 с.
7. Емельянов, А. А. Планирование экстремальных экспериментов с имитационными моделями / А. А. Емельянов // Прикладная информатика. – 2013. – № 3. – С. 76-90.
8. Григорьев, И. AnyLogic за три дня: практическое пособие по имитационному моделированию / Илья Григорьев. – 2017. – 273 с. – URL: https://cstor.nn2.ru/userfiles/data/ufiles/2019-09/73/8f/1a/5d7269f3bfa15_anylogicinthreedays28rus29.pdf
9. Моделирование эколого-экономической системы региона на основе системы Pilgrim / Е. И. Царегородцев, П. Ф. Войтко, Л. В. Петрова, А. В. Баранов // Прикладная информатика. – 2015. – Т. 10, № 1 (55). – С. 85-97.
10. Войтко, П. Ф. Об инновационных решениях прогнозирования устойчивости лесотранспортных систем региона / П. Ф. Войтко, Л. В. Петрова, А. В. Баранов // Инновационное развитие экономики. – 2018. – № 4(46). – С. 45-52.

IMITATIONAL MODELING OF FOREST CARGO FORMATION PROCESS BY GRAVITATIONAL END LEVELER AT FOREST INDUSTRIES WITH RIDES

Roshchina Marina Mikhailovna, Voytko Petr Filippovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The results of simulation modeling of the process of forming timber cargoes by gravity end leveler K-142M at a timber industry enterprise with float raids in the city of Arkhangelsk are presented. General diagrams of simulation models of timber transshipment processes of unloading bundles of logs from water to timber transport have been compiled in software environments: 1) water–overpass–end leveler–car AnyLogic 7.3.7 Personal Learning Edition; 2) water–overpass–road train AnyLogic 8.1.0 Personal Learning Edition; 3) water–overpass–end leveler–road train AnyLogic 7.3.7 Personal Learning Edition

Keywords: *simulation modeling; formation of timber cargo; gravity end-leveler; timber industry; float raid.*

УДК 674.815

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ МЕЖЛАБОРАТОРНЫХ СЛИЧИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ COVID-19

Карнов Алексей Александрович, Тарасова Ольга Германовна

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

Представлен опыт процесса внешнего аудита деятельности заводской испытательной лаборатории в целях подтверждения компетентности по системам сертификации CARB, EIDE2020 и CE в условиях пандемии COVID-19. В статье изложены основные проблемы дистанционного отбора образцов по системе видеосвязи для проведения межлабораторных сличительных испытаний двумя испытательными лабораториями: компанией ООО «ИнвестФорэст» и Entwicklungs and Prüflabor Holztechnologie GmbH (EPH). По результатам исследований качества продукции установлено, что ООО «ИнвестФорэст» – крупный производитель фанеры в Республике Марий Эл, реализующий продукцию на рынки стран ЕС и США, выполняет обязательные требования по содержанию формальдегида в продукции. Результаты межлабораторных сличительных испытаний позволили выявить коэффициент корреляции значений содержания формальдегида, составивший 0,8, и установили высокий уровень качества проводимого заводского контроля в испытательной лаборатории ООО «ИнвестФорэст».

Ключевые слова: эмиссия формальдегида; Калифорнийская комиссия по воздушным ресурсам (CARB); Европейская сертификация безопасности (CE); межлабораторные сличительные испытания; подтверждение компетентности; дистанционный отбор образцов.

Введение

Деятельность испытательных лабораторий, независимо от статуса – заводская или независимая – регламентируется соответствующими нормативными документами системы аккредитации, содержащими требования по проведению оценки качества продукции.

Для проведения испытаний лаборатория должна планировать и осуществлять действия по управлению рисками и возможностями, которые создают основу для повышения результативности системы менеджмента, достижения лучших результатов и предотвращения негативных последствий [1].

Одним из важнейших критериев оценки деятельности испытательной лаборатории при подтверждении компетентности является соответствие результатов межлабораторных сличительных испытаний. Особую сложность представляет проведение такой процедуры в условиях пандемии, когда лаборатории и ответственные специалисты расположены в разных странах. При этом, безусловно, по-прежнему, необходимо соблюдение процедур отбора, упаковывания, транспортировки, обеспечения сохранности, защиты целостности объектов испытаний и защиты интересов лаборатории. Должны быть предприняты меры предосторожности, чтобы избежать ухудшения свойств, загрязнения, потери или повреждения объектов при обращении, транспортировке, хранении/ожидании и подготовке к испытаниям.

Цель работы

Проведение отбора образцов и межлабораторных сличительных испытаний, применяя методы дистанционной работы в условиях пандемии, позволяющие обеспечить высокий коэффициент корреляции и достоверность результатов оценки содержания формальдегида по трем методам: камерным – по ГОСТ 30255-2014 [3], газового анализа – по ГОСТ 32155-2013 [4] и перфораторным – по ГОСТ 27678-2014 [2].

Решаемые задачи, способствующие достижению цели

1. Анализ требований органа по аккредитации к проведению процедуры подтверждения компетентности испытательной лаборатории.
2. Установление правил отбора образцов для межлабораторных сличительных испытаний при проведении процедуры дистанционным способом в период ограничений, связанных с пандемией COVID-19.
3. Согласование методик проведения испытаний по оценке содержания формальдегида с лабораторией-провайдером.
4. Определение критериев оценки и величины коэффициента корреляции по результатам испытаний, проведенных в двух лабораториях.

Методы исследования

При проведении аналитических исследований выполнен анализ требований стандартов на методы испытаний по трем различным способам оценки содержания формальдегида в фанере. Обработка результатов измерений проводилась с применением средств математической статистики, элементов математического моделирования и анализа планирования эксперимента, с использованием прикладных программных пакетов Microsoft Excel, Word и Статистика.

Требования к испытательной лаборатории

Для проведения межлабораторных сличительных испытаний при дистанционной работе лаборатория должна иметь четкую систему идентификации объектов испытаний, позволяющую обеспечить, что объекты не будут перепутаны физически либо при ссылке на них в записях или других документах. В случае если объекты необходимо хранить или кондиционировать при определенных условиях окружающей среды, данные условия должны поддерживаться, контролироваться и регистрироваться.

Лаборатория должна иметь процедуру для мониторинга достоверности результатов своей деятельности и регистрировать полученные результаты, с применением статистических методов для анализа результатов. Должен быть составлен план такого мониторинга и проводиться его анализ.

Мониторинг должен включать следующее:

- использование стандартных методик испытаний;
- использование аттестованного оборудования;
- проверку функционирования измерительного и испытательного оборудования;
- повторные испытания или калибровки с использованием одного и того же или различных воспроизводимых методов;
- повторные испытания хранящихся образцов;
- корреляцию результатов для различных характеристик образца;
- анализ полученных данных;

- внутрилабораторные сличения.

Интерпретация результатов исследования

Для достижения целей подтверждения уровня эмиссии формальдегида требованиям основных стандартов стран ЕС и США в области безопасности строительных материалов требуется непосредственно проведение испытаний по трем методам оценки содержания формальдегида:

- *камерный метод* – по ГОСТ 30255-2014. Метод определения выделения формальдегида и других вредных летучих химических веществ в климатических камерах;
- *метод газового анализа* – по ГОСТ 32155-2013. Определение выделения формальдегида методом газового анализа;
- *перфораторный метод* – по ГОСТ 27678-2014. Перфораторный метод определения содержания формальдегида.

Применение всех трёх методов обосновано несколькими условиями, характеризующими преимущества их применения. Основными из них являются следующие:

- возможность сравнения достоверности результатов испытаний, полученных в ЗИЛ для каждого из методов оценки миграции формальдегида, с результатами испытаний, представленными аккредитованной ИЛ;
- оперативное подтверждение заводской лабораторией соответствия древесных материалов классу эмиссии формальдегида E0,5, E1 или E2 и возможность предоставить результаты оценки миграции формальдегида для установления коэффициента корреляции с результатами оценки из этих же листов фанеры, полученных в нотифицированных лабораториях стран ЕС или США и др.

Одним из ключевых моментов процесса сертификации ЗИЛ по эмиссии формальдегида является организация *выездного аудита* представителями аккредитованного органа по сертификации (ОС), включающего в себя:

- ознакомление с производством;
- анализ Руководства по качеству контроля проведения заводских испытаний и контроля качества;
- отбор образцов для сличительных испытаний в заводской лаборатории и лаборатории органа по сертификации;
- установление коэффициента воспроизводимости результатов, корреляции и итогового значения показателя выделения формальдегида для конкретного предприятия.

Отбор проб по требованиям сертификации CARB должен осуществляться инспектором ОС во время аудита; образцы должны быть подготовлены, герметично упакованы и отправлены в лаборатории для последующего проведения одновременных сличительных испытаний.

Серьезным испытанием для предприятия явилась пандемия COVID-19, поскольку запланированный на апрель 2020 года аудит лаборатории ООО «ИнвестФорэст» был сорван и принято решение произвести отбор образцов под контролем органа по сертификации (лаборатории-провайдера) по системе видеосвязи, что впервые использовано в практике ОС и выполнено по исключительному разрешению CARB. В результате успешно проведенного отбора для ОС подготовлено 60 и для заводской испытательной лаборатории – 36 образцов соответственно.

В течение мая 2020 года проведены сличительные тесты, которые позволили выявить высокий коэффициент корреляции значений содержания формальдегида, составивший 0,8, и установить нормативное значение уровня допустимой эмиссии формальдегида (QCL) для испытательной лаборатории ООО «ИнвестФорэст».

Несмотря на отличные показатели содержания формальдегида, на проведение сертификационного аудита в мае 2020 года по инициативе CARB США был наложен запрет, и аудит был отложен до августа 2020 года.

Путем сложных переговоров, с привлечением региональных экспертов и компромиссным подходом в методах отбора образцов и критериях оценки результатов, внешний аудит деятельности испытательной лаборатории в августе 2020 года все же удалось провести. По его результатам заводская испытательная лаборатория и служба контроля качества ООО «Инвест Форэст» успешно подтвердили свою компетентность, и компания получила сертификаты соответствия по всем трем системам сертификации.

Проведено тестирование порядка 30 партий фанеры, результаты измерений показали стабильность производственного процесса и низкий уровень содержания формальдегида в продукции ООО «ИнвестФорэст».

Результаты статистической обработки проведенных межлабораторных сличительных испытаний представлены на рисунках 1 и 2.

На графиках приведены результаты тестирования партий продукции за два межспекционных периода. Установлено, что не выявлено ни одного превышения установленного уровня эмиссии формальдегида (QCL), это свидетельствует о стабильности технологического процесса и высоком уровне качества и безопасности продукции.



Рис. 1. График результатов испытаний фанеры марки ФК

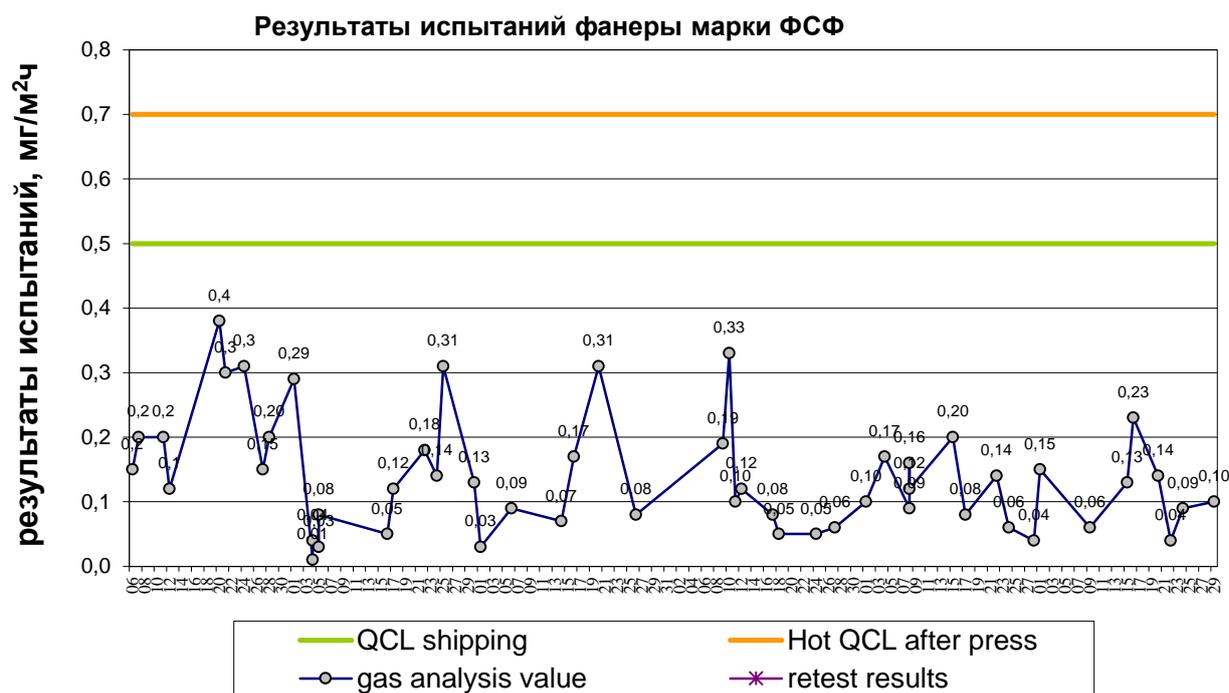


Рис. 2. График результатов испытаний фанеры марки ФСФ

Выводы

Результатом работы дистанционно проведенного внешнего аудита по подтверждению компетентности заводской испытательной лаборатории стала успешная сертификация продукции ООО «ИнвестФорэст» по требованиям основных стандартов безопасности строительных материалов в системах CARB, E1DE2020 и CE.

Впервые в практике проведенные дистанционно отбор образцов и межлабораторные сличительные испытания в условиях пандемии covid-19 позволили обеспечить высокий коэффициент корреляции и достоверность результатов оценки содержания формальдегида по трем методам: камерному, газового анализа и перфораторному.

Список литературы

- ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
- ГОСТ 27678-2014. Плиты древесные и фанера. Перфораторный метод определения содержания формальдегида.
- ГОСТ 30255-2014. Мебель, древесные и полимерные материалы. Метод определения выделения формальдегида и других вредных летучих химических веществ в климатических камерах.
- ГОСТ 32155-2013. Плиты древесные и фанера. Определение выделения формальдегида методом газового анализа.
- Бардонов, В.А. Об особенностях проведения испытаний древесных материалов камерным методом в соответствии с новой редакцией стандарта / В.А. Бардонов, Б.К. Иванов // Вестник ВНИИДРЕВ. – 2014. – № 3 (8). – С. 2-4.

ENSURING THE RELIABILITY OF THE RESULTS OF INTERLABORATORY COMPARISON TESTS DURING THE PANDEMIC

Karpov Alexey Alexandrovich, Tarasova Ol'ga Germanovna

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

Experience in the process of external audit of the factory testing laboratory in order to confirm the competence of the CARB, E1DE2020 and CE certification systems in the context of the COVID-19 pandemic. The article describes the main problems of remote sampling using the video communication system for conducting interlaboratory comparison tests by two testing laboratories: InvestForest LLC and Entwicklungs and Prüflabor Holztechnologie GmbH (EPH). According to the results of product quality studies, it was established that InvestForest LLC, a major plywood manufacturer in the Republic of Mari El, which sells products to the markets of the EU and the United States, meets the mandatory requirements for the content of formaldehyde in products. The results of the interlaboratory comparison tests revealed the correlation coefficient of the values of the formaldehyde content, which was 0.8, and established a high level of quality of the factory control carried out in the testing laboratory of InvestForest LLC.

Keywords: *formaldehyde emission; California Air Resources Board (CARB); European Safety Certification (CE); interlaboratory comparison tests; proof of competence; remote sampling.*

ТРАНСПОРТ. ЭНЕРГЕТИКА. МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 64.06

ВЫБОР СХЕМЫ РАБОТЫ МАШИНЫ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ СНЕЖНО-ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА

*Галеев Султан Хафизьянович, Муртазин Рустам Шамильевич,
Белавин Максим Владимирович*

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

Статья затрагивает актуальные проблемы эксплуатации дорог в зимний период и сложности уборки образуемой на них наледи. Рассмотрены, в частности, вопросы повышения эффективности и производительности рабочего органа дорожных машин по удалению снежно-ледяного покрова. Показаны основные типы разрушения снежно-ледяных образований при помощи рабочего органа. Обоснованы преимущества и недостатки схем разрушения снежно-ледяных образований при встречном и попутном фрезеровании.

Ключевые слова: эксплуатация дорог; рабочие органы дорожных машин; скалыватели; снежно-ледяной покров; встречное резание; попутное резание.

Введение. Среди основных задач зимнего содержания автомобильных дорог механический метод удаления снежно-ледяных образований является наиболее распространенным. Этот метод подразумевает применение отвальных (плужных), щеточных, шнекороторных, фрезерно-роторных и подобных рабочих органов дорожных машин [1]. Однако в случае формирования прочных снежно-ледяных образований качественная очистка рабочими органами, перечисленными выше, затрудняется или становится невозможной, кроме тех случаев, когда применяются специализированные скалыватели со специальными резцами, способными снимать уплотненные слои снега и льда. Все это актуализирует тему нашего исследования.

Основные идеи исследования

Работы по содержанию дорожных поверхностей в зимний период в должном состоянии отличаются повышенной трудоёмкостью, производятся на больших площадях, в сложных климатических условиях. На период с ноября по март в Республике Марий Эл приходится до 70 % общего объёма работ по эксплуатационному содержанию дорог, тротуаров, подъездных путей, площадок и территории предприятий.

Основные трудности зимней уборки связаны с метаморфизмом снега, то есть способностью изменять свои свойства за достаточно короткий промежуток времени под действием как климатических условий, так и в результате движения транспортных средств и пешеходов. Под воздействием перечисленных выше факторов снег, находящийся на очищаемой поверхности, быстро уплотняется, а затем превращается в снежно-ледяной накат или лёд, прочность которого по сравнению с начальным состоянием возрастает в 15...25 раз.

Разрушение снежно-ледяных образований рабочим органом скальвателя льда барабанного типа осуществляется при помощи двух относительно независимых движений рабочего органа – вращательного и поступательного. При этом возможны две схемы работы таких машин:

а) *схема попутного (обратного) фрезерования*, когда движение рабочих органов в зоне резания начинается от верхней поверхности льда, а заканчивается на очищаемой поверхности. При этом отделённые частицы льда и снега отбрасываются в сторону, противоположную движению машины;

б) *схема встречного (прямого) фрезерования*, когда движение рабочих органов начинается от точки контакта вершины резца с асфальтобетонным покрытием навстречу верхней грани поверхности льда и снега. Отброс отделённых частиц осуществляется в направлении движения машины.

В качестве основы для разрабатываемой машины будем использовать схему работы почвофрезы шириной захвата 160 см. Данная конструкция выбрана для агрегатирования этой машины с тракторами малого класса (6 кН) применительно к трактору МТЗ 320.4. Выбор такого трактора для агрегатирования обусловлен тем, что он имеет высокую маневренность и может проехать на участках, где использование тракторов большего класса невозможно. Размещение проектируемых рабочих органов производится на штатных крепежных кронштейнах заводского изготовления. Для возможности копирования обрабатываемой поверхности используются опорно-копирующие устройства, позволяющие регулировать толщину снимаемого слоя.

Наибольший интерес для решения проблемы механической обработки представляет лёд, имеющий кристаллическое строение, так как первые два вида образований не создают прочных связей ни между соседними зёрнами, ни с дорожной поверхностью и легко удаляются при помощи обычной щётки.

При снятии снежно-ледяного покрова с асфальтобетонного покрытия, по аналогии с обработкой металлов резанием с помощью цилиндрических и дисковых фрез, имеется возможность выбора направления подачи инструмента (в нашем случае – рабочего органа) относительно движения агрегата – попутное и встречное. У каждого из данных способов обработки есть свои отличительные особенности, достоинства и недостатки [2].

При *встречном режиме резания* направление вращения рабочего органа противоположно движению подачи на него льда. Поэтому если при попутном резании основной действующей силой реза является смятие поверхностного слоя, то при встречном большую часть работы выполняют растяжение и изгиб. Схема встречной обработки приведена на рисунке 1.

Недостатками данного метода являются сложность удаления срезаемого материала в результате действия силы резания на отрыв обрабатываемого материала, непостоянство толщины удаляемого материала, проскальзывание зубьев фрезы. Вследствие этого возникает повышенная вибрация и снижается качество обработки.

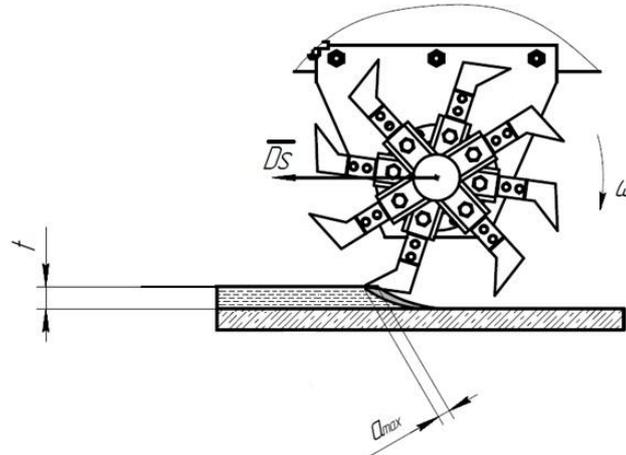


Рис. 1. Схема встречного фрезерования

При *попутном режиме резания* движение льда совпадает с направлением перемещения рабочего органа. Главной особенностью данного способа является скачкообразное погружение зуба в обрабатываемую поверхность и, соответственно, высокая ударная нагрузка. Это наиболее заметно при обработке плотных поверхностей, а также при использовании прямозубого инструмента. Схема выполнения попутной обработки приведена на рисунке 2.

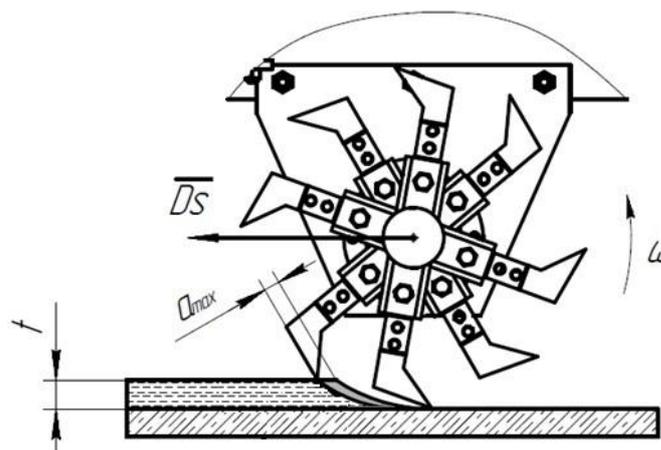


Рис. 2. Схема попутного фрезерования

Основные достоинства данного метода:

- простое удаление снимаемого материала благодаря тому, что он образуется позади инструмента;
- нет необходимости в применении специальных прижимных механизмов для обеспечения жесткости сопряжения достаточной силы резания;

- медленный и равномерный износ режущей части инструмента, увеличение ресурса работы инструмента;
- удобное направление удаления льда: он остается позади скальвателя и удаляется из зоны резания;
- данная схема обеспечивает стабильный ход устройства;
- отделённые частицы льда и снега отбрасываются в сторону, противоположную движению машины, и не попадают повторно в зону резания;
- в случае с обработкой снежно-ледяных образований ударное внедрение зубьев фрезы является преимуществом, т.к. укатанный снег и лед являются хрупкими материалами, и это способствует более лёгкому удалению их с поверхности асфальтобетонного покрытия.

Анализ результатов расчетов

Для возможности агрегатирования устройства на удаление снежно-ледяного слоя при выбранной схеме работы машины был проведен проверочный расчет потребной мощности на выполнение работ в условиях климата Республики Марий Эл. Расчеты выполнены для ширины захвата 1,6 м для использования устройства в агрегате с трактором класса 6 кН.

При определении потребной мощности для проведения вышеуказанных работ были выполнены следующие расчеты:

- усилие сопротивления при работе одного резца;
- общее усилие сопротивления с учетом количества резцов, одновременно участвующих в работе;
- потребная мощность для работы барабана;
- мощность, подводимую на барабан с закрепленными рабочими органами с учетом потерь в редукторе и опорах передач.

В результате выполненных расчетов получены следующие данные:

- мощность, потребная для работы барабана – 7,9 кВт;
- мощность, подводимая на вал барабана от вала отбора мощности трактора (для трактора МТЗ-320) через редуктор устройства – 11,8 кВт.

Из анализа результатов расчетов следует, что энерговооруженность рассматриваемого трактора позволяет обеспечить устойчивую работу агрегата при работе с устройством с шириной захвата 1,6 м.

Выводы

Анализируя условия работы рабочих органов при разрушении обрабатываемого слоя, можно сделать вывод, что при дальнейшей энергосиловой оценке необходимо учитывать температуру и структуру снежно-ледяного покрытия.

По своим физико-механическим свойствам лед может быть отнесен к твердым поликристаллическим телам, он обладает упругопластическими свойствами и имеет характерные отличия от других материалов. При действии динамических нагрузок происходит хрупкое разрушение льда. Стоит также отметить, что при проектировании рабочего оборудования специализированных машин для разрушения льда, характеристики его механических свойств следует принимать приближенно для конкретных условий местности, так как значения параметров прочности и других физико-механических свойств льда могут иметь широкий интервал разброса.

Список литературы

1. Баловнев, В.И. Коммунальная техника 2002 / В.И. Баловнев. – Москва: Машиностроение, 2002. – 176 с.
2. Обработка металлов резанием: справочник технолога / под ред. А.А. Панова. – Москва: Машиностроение, 1998. – 736 с.

ON THE QUESTION OF CHOOSING A SCHEME FOR THE OPERATION OF THE MACHINE FOR REMOVING SNOW AND ICE COVER

Galeev Sultan Hafizyanovich, Murtazin Rustam Shamilyevich, Belavin Maksim Vladimirovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The article touches upon the problems of road operation in winter and the complexity of cleaning the formed ice on the roads, in particular, increasing the efficiency and productivity of the working body for their removal. The article presents the main types of destruction of snow-ice formations using a working body. The advantages and disadvantages of the schemes of destruction of snow-ice formations in counter milling and passing milling have been substantiated.

Keywords: *working bodies of road machines; cleavers, snow and ice cover; counter cutting; passing cutting.*

УДК 64.06

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТОДОВ УДАЛЕНИЯ СНЕЖНО-ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА С ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ

Галеев Султан Хафизьянович, Муртазин Рустам Шамильевич, Белавин Максим Владимирович

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

Обращаясь к актуальной проблеме совершенствования эксплуатации дорог и организации движения транспорта в зимний период, особое внимание авторы уделяют сложности уборки образуемой на дорогах наледи, в частности необходимость повышения эффективности и производительности машин по их удалению. В статье рассмотрены возможные варианты удаления снежно-ледяного покрова. Представлены различные методы удаления снежно-ледяного покрова с проезжей части, охарактеризованы их плюсы и минусы. Обоснован выбранный механический метод очистки снежно-ледяного покрова. Приведена кинематическая схема устройства скальвателя.

Ключевые слова: *эксплуатация зимних дорог; рабочие органы дорожных машин; скальватели; снежно-ледяной покров; механический способ разработки льда и снега; химические противогололедные вещества.*

Введение. Зимний период года является самым сложным для эксплуатации дорог и организации движения как на дорогах общего пользования, так и на территории транс-

портных и иных промышленных предприятий. Нельзя не отметить также сложности уборки от образовавшейся наледи дворовых территорий, пешеходных дорожек, остановочных площадок общественного транспорта и т.д.

Очевидно, что наличие снежных отложений и наледи приводит к снижению скорости и ухудшению условий безопасности движения. В связи с этим поиск путей повышения эффективности и производительности машин для удаления льда является в настоящее время весьма актуальной проблемой.

В большинстве работ наибольшее внимание исследователями уделяется опыту применения, поиску новых эффективных химических реагентов и норм их распределения [2]. В то же время поскольку отрицательное влияние применяемых для борьбы со снегом и гололедом химических реагентов на окружающую среду довольно велико, то немалый интерес представляет разработка эффективных способов механического разрушения уплотненного снега, чему и посвящена данная статья.

Цель работы – повысить эффективность зимнего содержания автомобильных дорог, обеспечить улучшение условий для движения автомобилей и пешеходов на проезжей части и тротуарах, а также максимально облегчить, ускорить и удешевить зимнее содержание дорог с применением наиболее эффективного метода борьбы со льдом.

Основные идеи исследования. Все мероприятия по борьбе с зимним снежно-ледяным покровом на дорожном покрытии можно по целевой направленности разделить на три группы:

- мероприятия, направленные на предотвращение образования снежно-ледяного слоя или ослабление его сцепления с покрытием. Это профилактические методы борьбы с зимней скользкостью;
- мероприятия, направленные на снижение отрицательного воздействия образовавшейся зимней скользкости (повышение коэффициента сцепления колеса с дорогой путем рассыпания фрикционных материалов);
- мероприятия, направленные на скорейшее удаление с покрытия ледяного или снежного слоя с применением химических, механических, тепловых и других методов [1].

Обработка покрытий *химическими противогололедными веществами* производится специальными устройствами, агрегированными на мобильных технических средствах. Сегодня на отечественном рынке представлено большое количество близких по назначению разных агрегатов для распределения по дорогам, площадкам и пешеходным зонам средств борьбы со скользкостью: *инертных сыпучих материалов* (прежде всего песка) и *реагентов*, способствующих таянию наледи (технической поваренной соли и других хлоридов), причем реагенты могут быть как в твердой, так и в жидкой форме, а также агрегаты, предназначенные для распределения комбинированных смесей инертных материалов и реагентов.

От обеспечения плотности посыпки (равномерности разбрасывания) и точности дозирования материалов в значительной степени зависят эффективность действия распределяемых материалов и экономическая эффективность работы предприятий. Потери, перерасход материалов увеличивают производственные затраты и, что также немаловажно, избыток реагентов оказывает негативное влияние на экологию. Поэтому рекомендуется при выборе оборудования проводить их эксплуатационные испытания и

сравнивать разные модели распределителей по производительности, ширине полосы обработки, равномерности и точности, удобству загрузки и т.д.

Использование химических противогололедных веществ оказывает отрицательное воздействие и на металлические конструкции, а также на окружающую природу. Обзор и анализ информации по рассматриваемому вопросу показал, что применение соляно-песчаной смеси приводит к ускоренному износу асфальтобетонных покрытий, а значит и к снижению их качества и долговечности.

Для борьбы с плотным укатанным слоем снега, а тем более со слоем льда в основном применяются *физические методы*, подразумевающие непосредственное снятие слоя снега или льда с поверхности дорожного полотна.

Одним из физических методов борьбы со льдом является *тепловой*. В настоящее время получили распространение тепловые методы удаления льда с использованием тепловых (ветровых) машин (тепловой способ предотвращения гололёда). Данный способ основан на удалении снежно-ледовых образований при помощи высокотемпературной струи выхлопных газов от отработавшего свой ресурс авиадвигателя. Исходя из вышесказанного, удаление наледи производится за счёт струи отработавших газов (до 900 м/с), а её разрушение – за счёт плавления от высоких температур (700 град. – сама струя и до 250 град. – асфальтобетонное покрытие). Следует учитывать, что под действием горячей струи лёд не плавится, а подтаивает на границе раздела «очищаемая поверхность – лёд». Во время этого процесса сцепление льда с поверхностью нарушается и происходит отделение снимаемого слоя от поверхности обработки. Поэтому такие виды работ требуют проведения значительных мероприятий по технике безопасности. Несмотря на некоторые положительные моменты в работе таких устройств, следует отметить, что данный метод является весьма энергоёмким. Ограничение использования теплового метода связано со значительными габаритами применяемой техники и не позволяет проводить работы на ограниченных территориях.

Наиболее широкое распространение из физических методов получил *механический способ* разработки льда и снега, основанный на разрушении снежно-ледовых образований. Применяемое оборудование, в основе работы которого заложен механический способ, имеет широкий набор рабочих органов (барабанные, дисковые, ротационные и другие). Использование тех или других типов рабочих органов определяет круг задач, на выполнении которых они могут быть задействованы. Например, дисковые рабочие органы могут оказать значительное разрушающее воздействие на удаляемый слой. Однако оборудование с вышеупомянутым типом рабочих органов будет иметь ограниченное применение вследствие возможности использования его преимущественно на ровных площадях. Преимуществом же барабанной схемы компоновки рабочих органов является возможность использования его не только на ровных площадях. Универсальность барабанных скальвателей заключается в том, что их можно использовать при удалении значительных слоев снега и льда.

При механическом методе удаления снежно-ледяного слоя в качестве рабочего органа используются скальватели в виде отвала. Такие устройства удобны для выполнения объема работ на больших территориях. Однако они обладают крупными габаритами и не могут обеспечить необходимую качественную уборку снежно-ледяных образований на тротуарах и в труднодоступных местах.

В качестве машины для выполнения работ на ограниченных территориях нашли применение барабанные агрегаты, навешиваемые на заднюю навеску тракторов класса 14 кН. На рисунке 1 приведен общий вид такого устройства.



Рис. 1. Устройство БЛ-1500

Данное устройство предназначено для разрушения ледяного покрова и спрессованного снега на дорогах, остановках, тротуарах и обочинах. Его преимущество заключается в том, что это оборудование имеет механический привод от ВМ трактора и может эксплуатироваться при низких температурах.

Одним из недостатков данного устройства является незащищенность дорожного полотна от повреждения твердосплавными резцами, несмотря на наличие опорно-копирующего устройства. Это происходит в результате неравномерности провисания цепей с дисками, на которых закреплены резцы. На практике применяются несколько видоизмененные конструкции, обладающие такими же недостатками, как перечисленные выше.

Для использования по очистке территорий от снежно-ледяного слоя предлагается схема работы таких машин с перпендикулярным расположением оси вращения барабана относительно направления движения уборочного агрегата. Кинематическая схема такого устройства приведена на рисунке 2.

Передача вращения от вала отбора мощности используемого трактора производится посредством карданного вала 1 на вал-шестерню 3, смонтированную на опоре с подшипниками 2 в корпусе редуктора. В корпусе редуктора вращение от шестерни 3 посредством конической передачи передается на зубчатое колесо 7 и вал 5 с шестерней 4. Далее от шестерни 4 и промежуточной шестерни 8 приводится вращение на шестерню 14. Полая шлицевая ступица шестерни 14 установлена на подшипниках 15. Вал устройства выполнен разрезным и своими внутренними концами вставлен в шлицевую опору шестерни 14. Ступицы шестерен 8, 4 и 7 расположены также на подшипниковых опорах. Выполнение ведущего вала барабана с закрепленными рабочими органами разрезным облегчает сборку-разборку данного узла.

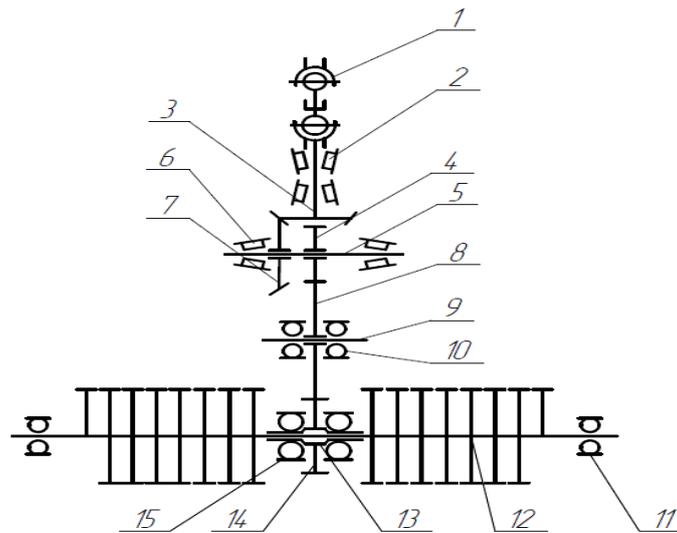


Рис. 2. Кинематическая схема устройства: 1 – вал карданный; 2 – подшипник; 3 – вал-шестерня; 4 – шестерня ведущая; 5 – вал ведущий; 6 – подшипник; 7 – колесо зубчатое; 8 – шестерня промежуточная; 9 – ось; 10 – подшипник; 11 – подшипник; 12 – вал рабочего органа; 13 – втулка шлицевая; 14 – шестерня ведомая; 15 – подшипник

Анализ результатов исследования

Энергосиловой анализ работы данного устройства позволяет сделать вывод о том, что при работе его на удалении снежно-ледяного слоя отсутствуют реакции от рабочих органов, действующие в осевом направлении барабана. Это предотвращает возникновение боковых сил, нарушающих стабильный и устойчивый ход уборочного агрегата.

Надежная работа таких машин обеспечивается настройкой опорнокопирующих устройств на требуемый режим работы. Расширение спектра применения машин с барабанной компоновкой рабочих органов возможно при использовании в качестве мобильного энергосредства тракторов малого класса – 6 кН. В отличие от тракторов класса 14 кН, тракторы малого класса существенно маневренны и могут использоваться на узких пешеходных дорожках, на дворовой территории автотранспортных предприятий и т.д.

Для дальнейшего обоснования эффективности применения тракторов малого класса для расчистки проезжей части и ограниченных территорий от наледи и уплотненного снега необходимо проведение теоретических и экспериментальных исследований данного процесса.

Обоснование необходимости выполнения вышеприведенных работ может быть выполнено с помощью сопоставления затрат с получаемым эффектом. Помимо стоимостных, об экономической эффективности новой техники можно судить и по таким показателям, как высвобождение рабочей силы, облегчение и оздоровление условий труда, снижение расхода материалов, повышение качества, надёжности изделий, что не всегда может быть отражено в их стоимости и себестоимости.

За аналог для сравнения принимают либо самую популярную среди потребителей, либо лучшую серийно выпускаемую в государстве технику, а при ее отсутствии – лучший зарубежный аналог, который преобладает в составе зональных машинных технологий в конкретном государстве.

В качестве базового варианта принят трактор МТЗ-82.1, а проектируемого – МТЗ-320.4.

Вывод. В результате проведения расчетов по стандартной методике можно констатировать, что использование проектируемого варианта приводит к снижению себестоимости выполнения работ на 26,5 %, а моторного топлива – на 34,4 %. Таким образом, анализ данных расчетов технико-экономических показателей позволяет сделать вывод о рентабельности предлагаемого варианта и необходимости проведения дальнейших исследований.

Список литературы

1. Баловнев, В.И. Коммунальная техника 2002 / В.И. Баловнев. – Москва: Машиностроение, 2002. – 176 с.
2. ГОСТ Р 50597-2017. Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения.

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF METHODS FOR REMOVING SNOW AND ICE COVER FROM THE ROADWAY

Galeev Sultan Hafizyanovich, Murtazin Rustam Shamilyevich, Belavin Maksim Vladimirovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The article touches upon the problems of road operation in winter and the complexity of cleaning the formed ice on the roads, in particular, increasing the efficiency and productivity of machines for their removal. The article discusses options for removing the snow and ice cover. Methods of removing snow-ice cover from the roadway are given, their pros and cons are characterized. The selected method of cleaning the snow-ice cover has been substantiated. The kinematic diagram of the cleaver device is given.

Keywords: *working bodies of road machines; cleavers, snow-ice cover; mechanical method of developing ice and snow.*

УДК 622.24

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ

Галеев Султан Хафизьянович, Муртазин Рустам Шамильевич

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

Статья посвящена актуальной проблеме повышения надежности и эффективности бурового оборудования, и в частности разработке и исследованию усовершенствованного рабочего органа для горизонтального направленного бурения. Представлены различные режущие элементы буровых головок, проанализированы их недостатки и достоинства. Разработаны

схемы резания с использованием самовращающихся режцов и схемы формирования профиля стенки скважины при использовании проектируемого рабочего органа. Приведены расчеты параметров проектируемого рабочего органа.

Ключевые слова: направленное горизонтальное бурение; рабочий орган бурения; расширитель; самовращающиеся режцы; надежность; износостойкость.

Введение. При выполнении направленного горизонтального бурения успешное проведение работ зависит от уровня совершенства используемых рабочих органов. Процесс горизонтального бурения связан с тем, что рабочий орган выполняет совмещенные операции.

При бурении по ходу расположения направления буровой головки могут встречаться очень твердые включения, дробление которых обычно сопровождается выделением тепла и интенсивным нагревом режущей части бурового инструмента. Отвод излишней тепловой энергии производится рабочим раствором, который подается в зону высокой температуры и в последующем откачивается специальными насосами.

Следующей функцией буровой головки является возможность корректировки направления движения в зависимости от места нахождения головки. Корректировка производится через каждые три метра до достижения горизонтального направления движения. Угол направления движения определяется с помощью геолокации.

Дальнейшее движение также, вплоть до выхода инструмента из подземного коридора, отслеживается системой позиционирования.

Таким образом, как следует из вышесказанного, буровая головка выполняет достаточно большое количество сложных функций [2].

Самой главной функцией и назначением головки является формирование проходного канала для последующего его расширения и доведения до требуемых размеров. В технологической части должна быть показана последовательность выполнения других операций. Одной из трудоемких операций является кратное протаскивание расширительных устройств. Количество проходов зависит от окончательного диаметра отверстия для укладки трубы требуемого диаметра.

Существующие режущие устройства на буровой головке не участвуют в формировании стенки отверстий. Стенки отверстий после прохода головок разрушаются ввиду разных причин (слабые грунты, наличие излишней влаги и т.д.). Это обрушение приводит к тому, что следующий диаметр расширителя берется с незначительным увеличением диаметра. Поэтому для достижения требуемого диаметра приходится протаскивать расширители многократно, что значительно увеличивает трудоемкость работ и сроки их выполнения. Особенно важно обеспечить качественное формирование стенок после заключительного прохода перед протаскиванием укладываемой трубы. Осыпание стенок и нарушение их целостности приводит к значительным затруднениям.

Анализ режущих элементов буровых головок показал, что они в основном справляются с поставленной задачей по формированию отверстия, но не предназначены для уплотнения формируемой стенки.

Анализируя представленные на рисунке 1 режущие головки, можно сделать вывод, что они могут выполнять функции по разрушению грунта и не воздействуют на стенки отверстий. На рисунке 1 а показан рабочий орган в виде стержня с двумя режущими

элементами, расположенными диаметрально. Режущие кромки при каждом своем проходе снимают слой определенной толщины, формируя при этом стенки и дно отверстия. Рабочий орган на рисунке 1 б работает по аналогичному принципу. Инструмент на рисунке 1 в оснащен дополнительно функцией отвода образующегося шлама потоком жидкости (бурового раствора). Буровой раствор в зону работы буровой головки подается через полые буровые штанги и форсунки.

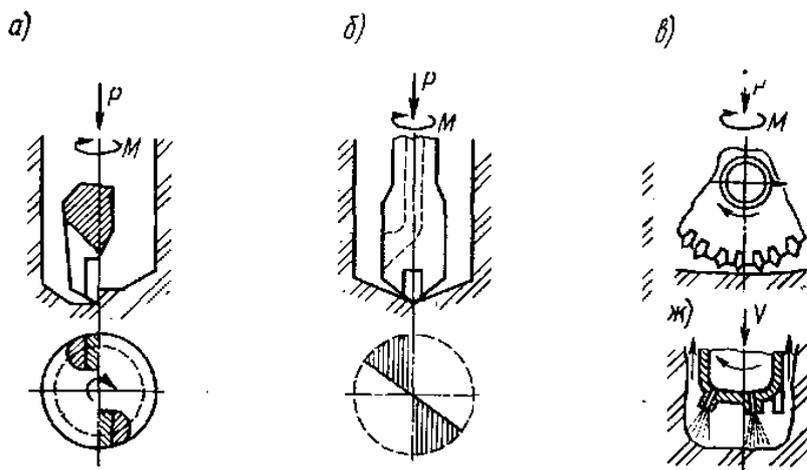


Рис. 1. Формы режущих головок

Во всех рассмотренных случаях отсутствует функция дополнительного воздействия на стенки отверстия с целью их упрочнения. При горизонтальном бурении скважины первый проход буровой головки предназначен для прокладки трассы до выхода ее на поверхность. Последующие проходы необходимы для доведения размера поперечного сечения до требуемых для укладки трубы нужного диаметра. Операции по расширению пилотной скважины производятся с помощью использования специальных устройств-расширителей. Общий вид расширителя показан на рисунке 2.



Рис. 2. Общий вид расширителя

Расширитель начинает работать при его вращательном движении вокруг своей оси. Он закрепляется на буровой штанге и протягивается в обратном направлении. При его

движении внутри образованного канала скважины последовательно вступают в работу режущие элементы начиная от наименьшего диаметра их расположения к наибольшему. Последовательное прохождение расширителей при увеличении их размера приводит к достижению необходимого диаметра скважины.

Использование указанного конструктивного исполнения расширителей имеет определенный недостаток. Он заключается в том, что после прохождения расширителей поверхность образованного отверстия остается рваной и с наличием разного размера выступов.

Ввиду различной геологической структуры залегающей породы на значительных участках происходят обвал стенок скважины и нарушение их целостности. Такое обстоятельство приводит к затруднению прохода инструмента при последующих проходах [1].

Если создавать требуемые условия подготовки перед протаскиванием трубы в образованном канале после последнего прохода расширителей, приходится делать большой запас его диаметра для беспрепятственного прохода. Дело в том, что имеющиеся после последнего прохода выступы на стенках создают некоторые препятствия при протаскивании трубы с оголовком. Общий вид оголовка показан на рисунке 3. Таким образом, из вышесказанного следует, что недостатки существующих конструкций заключаются в повышении трудоемкости выполняемых работ и, как следствие, снижении их производительности.



Рис. 3. Общий вид оголовка

Повышение износостойкости, эффективности и надежности работы бурового оборудования является актуальной задачей. Одним из путей решения данных проблем является *использование новых марок инструментальных материалов*. Однако на практике такие решения не дают высоких результатов.

Другим путем повышения износостойкости является *применение принципиально новых методов обработки*. В области резания металлов в последнее время нашли широкое применение самовращающиеся резцы, использование которых многократно повышает стойкость инструмента. Отличие их от обычных резцов заключается в том, что кроме главного движения и движения подачи есть дополнительное движение в форме вращения резца вокруг своей оси. Степень вращения резца вокруг своей оси устанавливается самопроизвольно под действием сил давления частиц снимаемого слоя в зависимости от угла поворота плоскости режущей кромки относительно направления подачи.

В случае использования таких резцов в буровой головке или в расширителях можно получить четыре схемы работы (рис. 4). Исходным будем считать значение угла $\phi = 0$, при котором плоскость круговой режущей кромки параллельна оси проходимой скважины (канала). При схеме, показанной на рисунке 4 а, подача осуществляется в сторону задней поверхности резца. При схеме, приведенной на рисунке 4 б, подача осуществляется в сторону передней поверхности резца. При схеме, представленной на рисунке 4 в, подача осуществляется в сторону задней поверхности резца. При схеме,

приведенной на рисунке 4 з, подача осуществляется в сторону передней поверхности резца. Предварительный анализ информации показал применимость всех рассмотренных схем на практике.

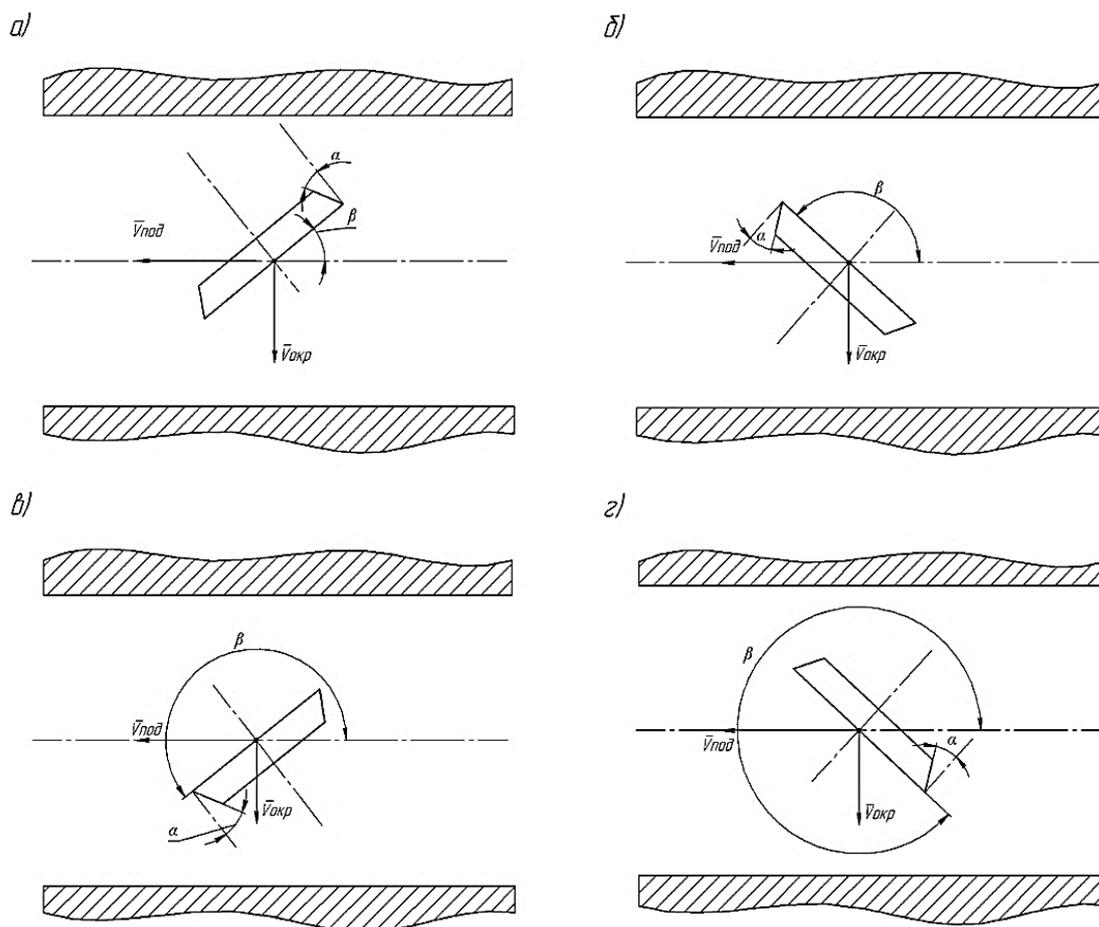


Рис. 4. Схемы резания с использованием самовращающихся резцов

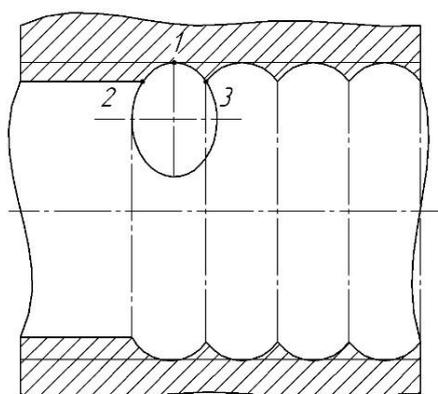


Рис. 5. Схема формирования профиля стенки скважины при использовании проектируемого рабочего органа: 1 – вершина резца; 2 – входная точка режущей кромки; 3 – выходная точка режущей кромки

Как было сказано выше, после прохождения расширителей поверхность образованного отверстия остается рваной и с наличием разного размера выступов. Поэтому для достижения упрочнения образуемой стенки в проектируемом рабочем органе целесообразно использование схемы резания, приведенной на рисунке 4 а. В данном случае передней поверхностью является внутренняя конусная поверхность, а задней – поверхность наружного конуса. Подача буровой головки в данной схеме будет осуществляться в сторону задней поверхности резца. Формирование профиля стенки скважины показано на рисунке 5.

Степень воздействия задней поверхности на элементы образуемого профиля стенки канала скважины зависит от геометрических параметров режима резания. Для этого рассмотрим схему профиля стенки канала скважины при выбранной схеме резания. Схема профиля формируемой поверхности приведена на рисунке 6.

Профиль формируемой поверхности (см. рис. 6) описывается следующим уравнением:

$$X = \sqrt{(R_p + R_{скв} - h \sqrt{R_p^2 - \frac{Z^2}{\cos^2 \beta}})^2 - Z^2 \operatorname{tg}^2 \beta} - (R_{скв} - h),$$

где R_p – радиус режущей кромки резца;

$R_{скв}$ – радиус поперечного сечения скважины;

h – толщина снимаемого слоя;

β – угол поворота плоскости резца.

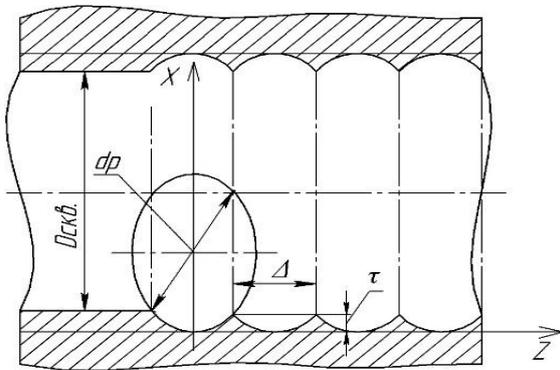


Рис. 6. Схема профиля формируемой поверхности

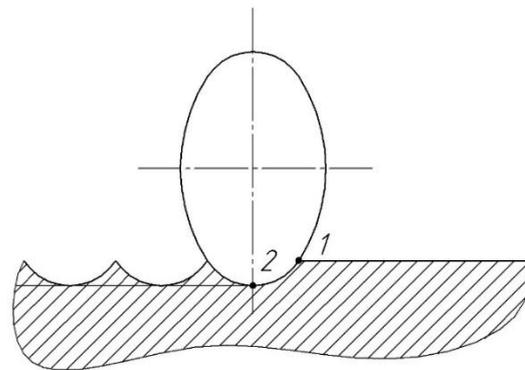


Рис. 7. Схема зоны расположения отрицательных углов

Полученное уравнение учитывает все параметры, участвующие в формировании профиля. При выполнении работ в производственных условиях необходимо учесть, что соотношение величины подачи к окружной скорости точек буровой головки является очень малой величиной (менее 5 %). С учетом принятого выше допущения уравнение профиля формируемой поверхности будет приближаться к уравнению эллипса

$$(X - R_p)^2 + \frac{Z^2}{\cos^2 \beta} = R_p^2.$$

Усилие сопротивления движению резца будет определено из выражения

$$P = kS,$$

где k – коэффициент удельного сопротивления резанию породы, кН/м^2 ;

S – площадь поперечного сечения снимаемого слоя круглыми резцами, м^2 .

Анализ результатов исследования

По данным исследований, проведенных с использованием круглых резцов, последние снижают усилие резания на 40-45 %. Поэтому корректировки мощности приводных устройств не требуется. Кинематические расчеты показали, что расчетным путем возможно определение параметров резания, при которых задний угол в зоне резания станет отрицательным. Схема зоны расположения отрицательных задних углов приведена на рисунке 7.

Изложенное выше позволяет констатировать, что использование предлагаемой конструкции рабочего органа будет наиболее эффективно при многоступенчатом расширении проходного диаметра формируемого канала. Конструктивная компоновка предлагаемого резца на режущей головке показана на рисунке 8.

Крепление резцов на головке выполнено таким образом, что они вступают в работу после прохождения существующих режущих элементов. Это связано с тем, чтобы предлагаемые резцы производили окончательное формирование стенок своей задней поверхностью с отрицательными значениями задних углов. Расчетные значения параметров режима, при котором в зоне 1-2 (см. рис. 7) происходит образование отрицательных задних углов, приведены ниже:

$$R_p = 0,05 \text{ м}; \quad \alpha_0 = 0,87 \text{ рад}; \quad \beta = 0,349 \text{ рад}.$$

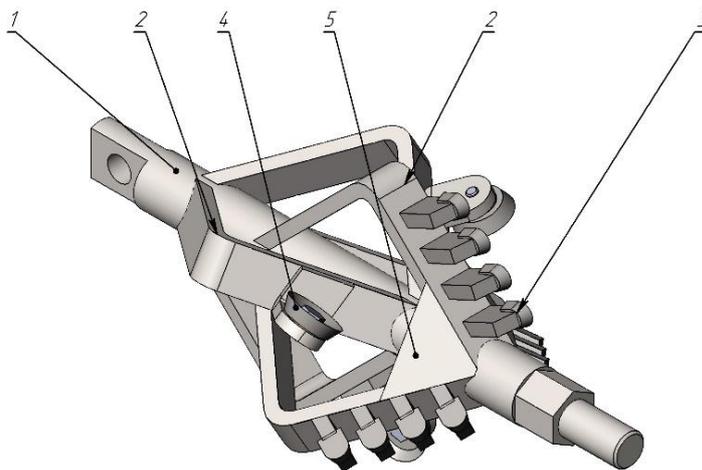


Рис. 8. Расширитель с круглыми самовращающимися резцами: 1 – ось; 2 – кронштейн; 3 – резец с твёрдосплавом; 4 – фреза чашечная; 5 – косынка

Вывод. Результаты приведенных выше исследований и расчетов еще раз подчеркивают, что вопросы совершенствования рабочих органов инструмента при выполнении энергоёмких операций являются актуальными. Анализ процесса горизонтально

направленного бурения позволил предложить пути модернизации используемого оборудования, повышения его надежности, износостойкости и эффективности.

Список литературы

1. Бабаян, Э.В. Инженерные расчеты при бурении / Э.В. Бабаян, А.В. Черненко. – Москва: Инфра-Инженерия, 2016. – 440 с.
2. Рыбаков, А.П. Основы бестраншейных технологий (теория и практика): Технический учебник-справочник / А.П. Рыбаков. – Москва: Пресс-Бюро № 1, 2005.

**ON THE ISSUE OF IMPROVING THE WORKING BODIES
FOR HORIZONTAL DIRECTIONAL DRILLING**

Galeev Sultan Hafizyanovich, Murtazin Rustam Shamilyevich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The article is devoted to the development and research of an improved working body for horizontal directional drilling. The cutting elements of the drill heads are analyzed, their disadvantages and advantages are given. Cutting schemes with the use of self-rotating cutters and schemes for forming the profile of the borehole wall using the projected working body have been developed. The article presents the calculations of the parameters of the projected working body.

Keywords: *directional horizontal drilling; working body of drilling; reamer; self-rotating cutters.*

УДК 629.373

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БЕСПИЛОТНОЙ
ТРАНСПОРТНОЙ ПЛАТФОРМЫ СО СМЕЩАЕМЫМ ЦЕНТРОМ
ТЯЖЕСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗРАБОТАННОЙ УСТАНОВКИ**

*Кудрявцев Игорь Аркадьевич¹, Шкуров Николай Владимирович¹,
Андреанов Юрий Семенович¹, Андреанов Денис Юрьевич²*

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

²ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа
(Национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», г. Москва
AndrianovYS@volgatech.net

В центре внимания авторов статьи – проектирование беспилотной транспортной платформы со смещаемым центром тяжести. Разработана и предложена установка (стенд) для определения координат расположения центра тяжести беспилотной транспортной платформы, определен предельный угол поперечной ее устойчивости.

Ключевые слова: *транспортная платформа; стенд; устойчивость; технические параметры; полезная нагрузка.*

Введение. Для обеспечения параметров устойчивости беспилотной транспортной платформы [1, 3] необходимо провести соответствующие эксперименты по ее определению, создать установку и принять базовую модель, на основе которой провести данную работу.

Цель исследования – определить предельный угол поперечной устойчивости, который будет положен в основу разработки системы смещения центра тяжести платформы, включая систему ее управления.

При проектировании беспилотной транспортной платформы со смещаемым центром тяжести (далее по тексту «платформа») в качестве донора был использован снегоход «ТКСИ 250».

В результате анализа базовой платформы с учетом массогабаритных параметров разрабатываемого навесного оборудования (система смещения центра тяжести полезной нагрузки) были определены ожидаемые технические параметры.

Ожидаемые технические параметры:

- длина – 2600 мм;
- ширина (с лыжами) – 1060 мм;
- высота – 1380 мм;
- база лыж – 715 мм;
- двигатель – РМЗ-250;
- рабочий объем – 249 куб.см;
- номинальная мощность – 22 л.с.;
- максимальный крутящий момент – 24 Нм;
- максимальная скорость – 57 км/ч;
- сухая масса снегохода – 210 кг;
- полезная нагрузка – 90 кг.

При этом критически важными для беспилотной платформы являются параметры координат положения ее центра тяжести. С целью минимизации погрешности в определении координат центра масс было принято решение определение координат положения центра тяжести платформы выполнить с применением стенда, обеспечивающего моделирование критических наклонений платформы. В результате был разработан и изготовлен стенд, представленный на рисунке 1.

Стенд для определения координат расположения центра тяжести снаряженной платформы представляет собой два связанных круговых сектора, на полках-хордах которых располагается платформа передними лыжами и гусеницей.

Такой стенд позволяет осуществлять наклонение платформы до неустойчивого равномерного положения, когда проекция центра масс платформы оказывается на границе опорной площади платформы, которая определяется крайними точками лыж и крайними точками гусеницы в поперечном направлении, образуя опорную площадку в виде трапеции.

В результате с помощью датчика угла и лазерного указателя были определены координаты центра масс снаряженной платформы.

Ключевой координатой расположения центра тяжести платформы при разработке системы смещения центра тяжести платформы является: высота – 560 мм и расстояние от центральных точек подвеса лыж по горизонтали – 710 мм.



Рис. 1. Стенд для определения координат расположения центра тяжести платформы

На этом же стенде был определен статический угол поперечной устойчивости, который составил 43° . Это значение является отправной точкой для определения допустимых углов наклона платформы, обеспечивающих уверенную ее устойчивость.

На рисунке 2 отражено расположение платформы на стенде, а на рисунке 3 показано наклонение платформы до неустойчивого равновесного положения во фронтальной плоскости.



Рис. 2. Расположение платформы на стенде



Рис. 3. Наклонение платформы до неустойчивого равновесного положения во фронтальной плоскости

С учетом необходимости введения коэффициента запаса, с учетом динамических воздействий на платформу при маневрировании ее на повышенных скоростях, с учетом возможных ветровых нагрузок, с учетом возможного нарушения правильного распределения полезной нагрузки в грузовом отсеке (человеческий фактор) был принят предельный угол наклона платформы – 30° . Значение этого угла будет положено в основу расчетов при разработке электромеханических исполнительных механизмов системы смещения центра тяжести платформы.

Принципиальная схема системы смещения центра тяжести отражена в патенте RU 159557 «Беспилотная снегоходная транспортная платформа со смещаемым центром тяжести».

Рисунки 4-7 иллюстрируют перемещение беспилотной снегоходной транспортной платформы по горизонтальной поверхности и по наклонным плоскостям в продольном и поперечном направлениях.

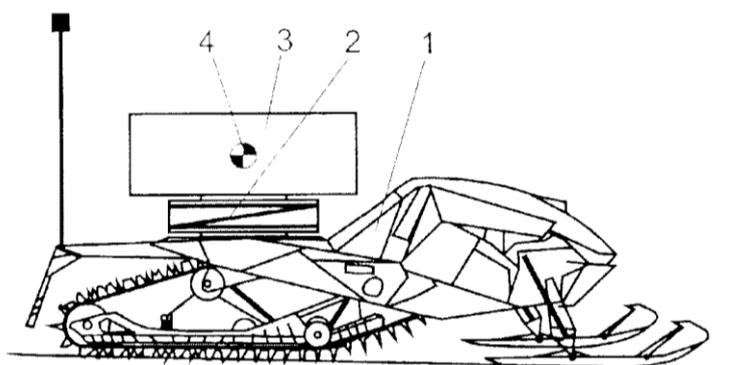


Рис. 4. Беспилотная снегоходная транспортная платформа, перемещающаяся по горизонтальной поверхности

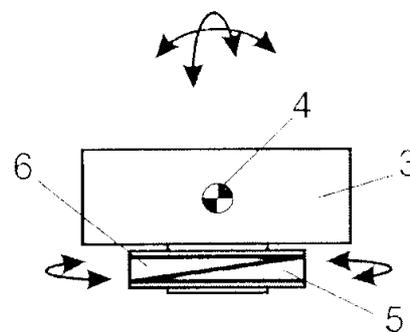


Рис. 5. Опорно-поворотное устройство системы смещения центра тяжести

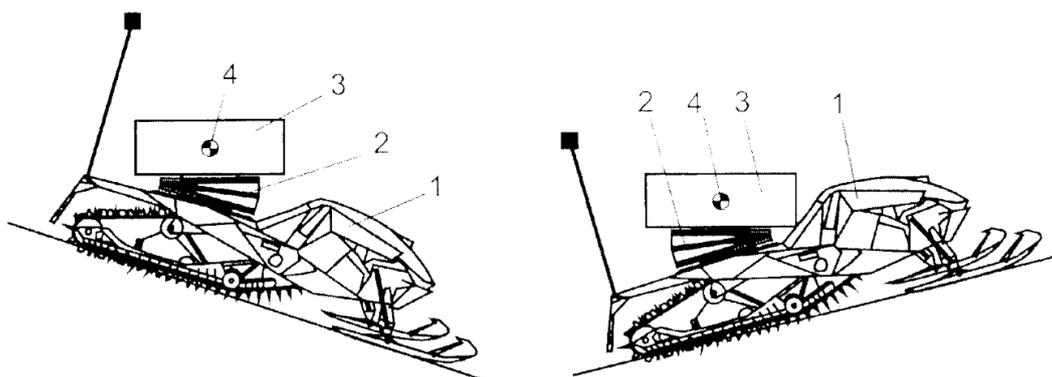


Рис. 6. Беспилотная снегоходная транспортная платформа, перемещающаяся по наклонным поверхностям в продольном направлении

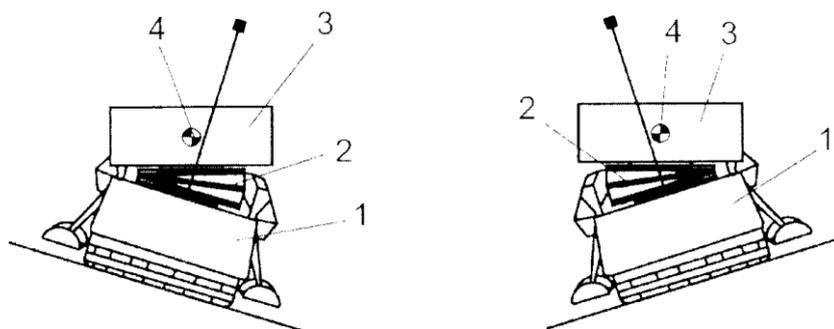


Рис. 7. Беспилотная снегоходная транспортная платформа, перемещающаяся по наклонным плоскостям в поперечном направлении

Беспилотная снегоходная транспортная платформа 1 содержит опорно-поворотное устройство 2, несущее полезную нагрузку 3, с центром тяжести 4. Опорно-поворотное устройство 2 выполнено в виде кинематически связанных между собой двух приводных скошенных колец 5 и 6 с возможностью их относительного поворота.

Беспилотная снегоходная транспортная платформа 1 может эффективно перемещаться вдоль и поперек наклонной поверхности за счет смещаемого центра тяжести 4 полезной нагрузки 3 посредством опорно-поворотного устройства 2. Смещение центра тяжести 4 происходит за счет изменения угла наклона площадки с полезной нагрузкой 3, который определяется суммированием углов наклона приводных скошенных колец 5 и 6 при относительном повороте.

Вывод. В результате работ был определен предельный угол поперечной устойчивости, равный 30° , который будет взят в основу разработки системы смещения центра тяжести платформы, включая систему управления ею.

Список литературы

1. Патент Российской Федерации на изобретение. Многоцелевая транспортно-технологическая платформа со смещенным центром тяжести RU № 2715098. (25.02.2020) / Д.Ю. Андрианов и др.

2. Искандеров, Ю.М. Мультиагентная модель управления беспилотной снегоходной транспортной платформой при решении практических задач / Ю.М. Искандеров, Д.Ю. Андрианов, Ю.С. Андрианов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Материалы, конструкции, технологии». – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2020. – № 3. – С. 35-41.

3. Беспилотная снегоходная транспортная платформа по смещаемым центрам тяжести RU 159557 (29.07.2015).

DETERMINATION OF TECHNICAL PARAMETERS OF AN UNMANNED TRANSPORTATION PLATFORM WITH A SHIFTING CENTER OF GRAVITY, USING A DEVELOPED UNIT

*Kudryavtsev Igor Arkadievich¹, Shkurov Nikolay Vladimirovich¹,
Andrianov Yuri Semenovich¹, Andrianov Denis Yurievich²*

¹Volga State University of Technological, Yoshkar-Ola

²National University of Oil and Gas «Gubkin University», Moscow

An installation (stand) for determining the coordinates of the location of the center of gravity of an unmanned transport platform has been developed and proposed, and the limiting angle of its lateral stability has been determined.

Keywords: transport platform; stand, stability; technical parameters; payload.

УДК 620.9

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЭЦ ПОСРЕДСТВОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫМИ НАСОСАМИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Рудомёткин Данил Леонидович¹, Бастратов Валентин Михайлович²

¹Йошкар-Олинская ТЭЦ-2

²ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола

Уровень экономического развития страны во многом определяется рациональным и грамотным использованием природных ресурсов. На сегодняшний день миллиарды гигакалорий тепловой энергии вторичных энергоресурсов (ВЭР), произведённых человеком, по технологическим причинам остаются невостребованными и выбрасываются в окружающую среду. Однако все эти отходы могут быть превращены в полезный продукт, горячую воду необходимой температуры. Это могут обеспечить тепловые насосы, которые позволяют получить 3...5 кВт тепла, затрачивая при этом 1 кВт электрической энергии.

Ключевые слова: теплоэнергетика; электрическая и тепловая энергия; вторичные ресурсы; компрессионные и абсорбционные тепловые насосы.

Введение. Теплоэнергетика является одной из основных составляющих энергетики страны, которая оказывает самое большое влияние на качество нашей жизни. Развитие

теплоэнергетики в значительной мере определяется научно-техническим прогрессом, что предполагает интенсификацию производства, повышение технического уровня и снижение затрат на процессы получения и передачи тепловой энергии. Экономия энергетических ресурсов и их грамотное потребление показывают технический уровень развития каждой страны.

В настоящее время в процессе выработки электрической и тепловой энергий на ТЭЦ для отопления и горячего водоснабжения (далее ГВС) используется промоборотная вода. Забор воды осуществляется с помощью береговой насосной станции, расположенной на реке или другом водоеме. Далее промоборотная вода идёт на охлаждение частей и механизмов оборудования ТЭЦ. В результате охлаждения частей и механизмов оборудования ТЭЦ происходит нагрев воды до 30 °С. Чтобы в дальнейшем можно было повторно использовать данную воду для охлаждения частей и механизмов, нужно ее охладить. Охлаждение воды происходит в градирнях, за счёт разности температур окружающего воздуха и промоборотной воды.

Перед исследователями стоит актуальная задача – изучение возможностей использования теплоты промоборотной воды для нагрева воды, применяемой на отопление и ГВС. Так как промоборотная вода имеет невысокую температуру (до 30 °С), потребуется специальная установка, которая способна передать теплоту от источника более низких параметров к источнику более высоких параметров. Данную задачу могут выполнить тепловые насосы.

Это поможет снизить эксплуатационные затраты и в целом повысить эффективность получения тепловой энергии.

Цель работы – исследование возможностей применения неиспользуемой теплоты для горячего водоснабжения на Йошкар-Олинской ТЭЦ-2.

Решаемые задачи:

- 1) анализ методов и средств применения неиспользуемой теплоты для горячего водоснабжения;
- 2) определение достоинств и недостатков компрессионного и абсорбционного тепловых насосов.

Принципы действия и характеристики тепловых насосов. Тепловой насос – техническое устройство, преобразующее теплоту низкого потенциала, непригодного для прямого использования, в теплоту среднего потенциала, пригодного для потребления, за счет энергии высокого потенциала. Существуют тепловые насосы *компрессионного* и *абсорбционного* типов.

Тепловые насосы являются единственными в своём роде, которые осуществляют процесс переноса теплоты с низкотемпературного уровня на более высокий температурный уровень потребителя, вовлекая в полезный оборот неиспользуемую природную и техногенную теплоту, соответственно снижая потребность в добываемом топливе и сокращая выбросы «парникового углекислого газа» (CO₂) и других вредных продуктов сжигания органического топлива.

Преимущества использования тепловых насосов для горячего водоснабжения:

- Низкое энергопотребление достигается за счет высокой эффективности теплового насоса (от 300 до 500 %) и позволяет получить на 1 кВт затраченной электрической энергии 3-5 кВт тепловой энергии.

- Система исключительно долговечна, срок эксплуатации составляет около 25-40 лет.
- Отсутствие необходимости в закупке, транспортировке, хранении топлива и расходе денежных средств, связанных с этим.
- Тепловые насосы имеют сравнительно небольшие размеры по сравнению с котлами.
- Тепловые насосы взрыво- и пожаробезопасны.
- Реализуется экологически чистый метод отопления и кондиционирования, т.к. не производится эмиссия CO_2 , NO_x и других выбросов, приводящих к нарушению озонового слоя и кислотным дождям.
- Нет сжигаемого топлива и не используются запрещенные хладагенты.
- Нет открытого пламени, выхлопа, сажи, нет запахов.
- Тепловые насосы работают полностью в автоматическом режиме.
- По сравнению с дизельным топливом, даже при сегодняшних ценах, тепловой насос окупается в течение 3-4 лет [4].

Компрессионные тепловые насосы

Компрессионные тепловые насосы позволяют, затратив 1 кВт электрической энергии, получить до 3-5 кВт тепла. Использование этой энергии для тепловых насосов дает возможность получить экономию в 3-4 раза. При использовании низкопотенциальной теплоты ВЭР и других источников наибольшее распространение получили тепловые насосы компрессорного типа.

При отводе теплоты от источников низкого температурного потенциала и затрате механической (электрической) энергии в них получают теплоту с такой температурой, при которой ее можно использовать для отопления, горячего водоснабжения или для производственных нужд.

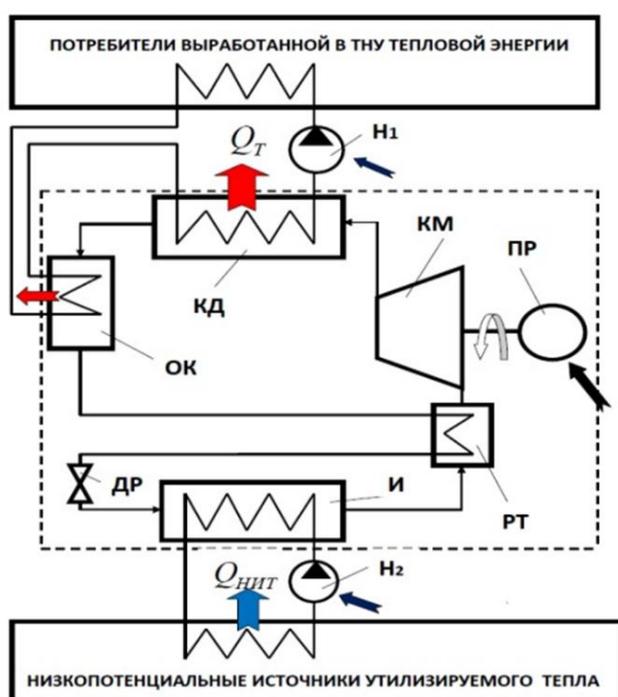


Рис. 1. Принципиальная схема компрессионного теплового насоса: И – испаритель, РТ – рабочее тело, РТ – регенеративный теплообменник, ОК – охладитель конденсата, КМ – компрессор, КД – конденсатор, ДР – дроссельное устройство, Н1 и Н2 – насосы

На рисунке 1 представлена принципиальная схема, включающая в себя все основные элементы компрессионного теплового насоса [6-10]. В испарителе при постоянном давлении P_0 и температуре T_0 осуществляется кипение рабочего тела при подводе теплоты от низкопотенциального источника тепла (процесс 7-1 на рис. 2 и 3). Насыщенный пар рабочего тела при давлении P_0 перегревается (процесс 1-2) в регенеративном теплообменнике обратным потоком жидкого рабочего тела, поступающего из охладителя конденсата. Перегретый пар уже с температурой T_2 поступает на вход компрессора, где происходит сжатие (процесс 2-3) до давления P_K и температуры T_K . Из конденсатора конденсат движется в охладитель конденсата, где происходит отвод тепла теплоносителю внешнего теплоприемника (процесс 4-5) с понижением температуры от $T_K=T_4$ до T_5 . Дальнейшее охлаждение до температуры T_6 производится обратным потоком пара, поступающим из испарителя в компрессор. Цикл оканчивается процессом дросселирования (процесс 6-7) жидкого рабочего тела в дроссельном устройстве от давления P_K до давления испарителя P_0 с понижением его температуры в процессе изэнтальпийного расширения в испарителе.

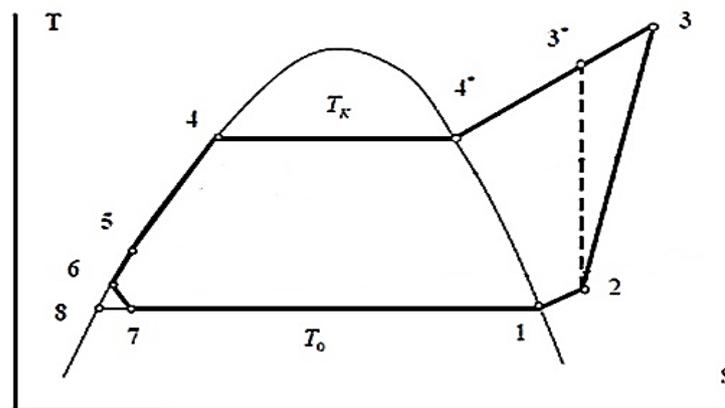


Рис. 2. Термодинамический цикл компрессионного теплового насоса в координатах T - S :
 T – температура; S – адиабата

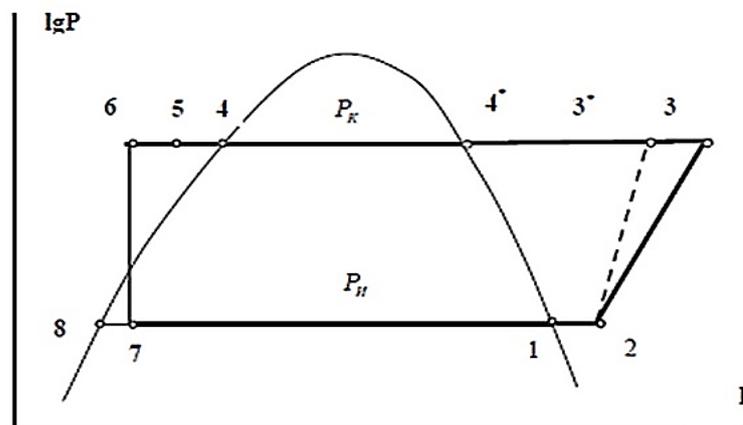


Рис. 3. Термодинамический цикл компрессионного теплового насоса в координатах $\lg P$ - h :
 $\lg P$ – логарифм давления; h – энтальпия

Абсорбционные тепловые насосы

Абсорбционные тепловые насосы работают на принципе поглощения (абсорбции) водяного пара водными растворами щелочей (LiBr, NaOH, KOH). Процесс абсорбции водяного пара происходит экзотермически, т.е. с выделением теплоты. Эта теплота расходуется на подогрев раствора до температуры абсорбируемого пара. Нагретый раствор щелочи по выходе из абсорбера направляют в поверхностный испаритель, где генерируется вторичный пар более высокого давления, чем первичный пар, поступают в абсорбер.

Абсорбционные тепловые насосы могут работать по повысительной и расщепительной схемам. На рисунке 4 приведена принципиальная схема абсорбционного теплового насоса.

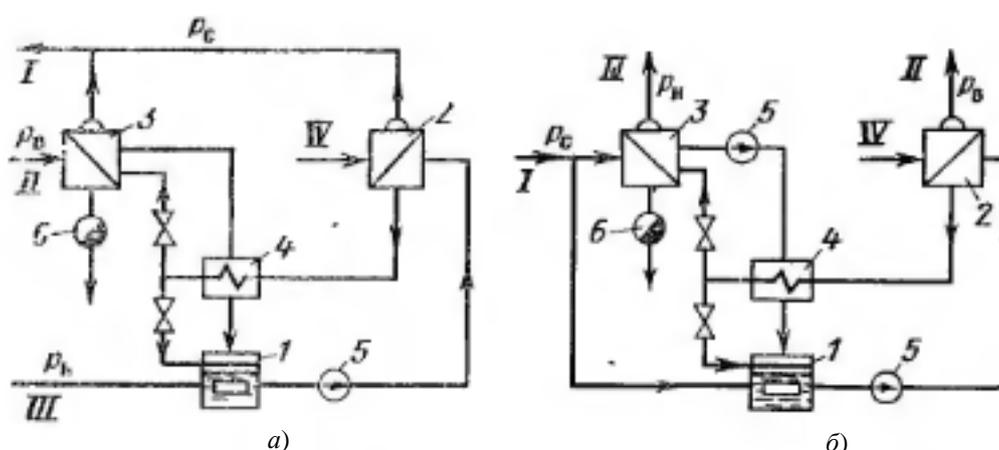


Рис. 4. Принципиальная схема абсорбционного теплового насоса:

a – повысительная схема; *б* – расщепительная схема; 1 – абсорбер, 2 – генератор пара, 3 – испаритель, 4 – теплообменник, 5 – насос, 6 – конденсатоотводчик. I, II, III – пар среднего, высокого и низкого давления; IV – вода

В большинстве регионов России основным источником энергии для теплоснабжения являются ТЭЦ, поэтому получение теплоты с помощью парокompрессионных электроприводных тепловых насосов на низкопотенциальных холодных источниках теплоты экономически нецелесообразно – не достигается экономия топлива. Вот почему наиболее перспективным для российских широт является абсорбционный класс машин.

Процессы переноса теплоты в таких машинах совершаются с помощью совмещенных прямого и обратного термодинамического циклов, в отличие от парокompрессионных тепловых насосов, в которых рабочее тело (хладон) совершает только обратный термодинамический цикл. В мировой практике используют преимущественно солевые ТН абсорбционного типа (бромистолитиевые (LiBr) тепловые насосы) [1-3, 5].

Абсорбционные понижающие термотрансформаторы можно успешно применять для целей технологического теплоснабжения, отопления зданий и горячего водоснабжения при наличии греющих источников с температурой 100-150 °С и источников дешевой сбросной теплоты с температурой 20-40 °С. В процессах трансформации теплоты в понижающем термотрансформаторе в них получают теплоту промежуточного температурного потенциала в количестве, превышающем на (50-70) % теплоту греющего источника со сравнительно высокой температурой.

Чрезвычайно важным является то обстоятельство, что абсорбционные понижающие термотрансформаторы могут быть эффективно использованы вместо водоохлаждающих устройств (градирен, прудов-холодильников и т. п.), отводя при этом низкопотенциальную теплоту энергетического оборудования, охлаждаемого водой. В этом случае термотрансформатор выполняет функции теплоснабжающей и холодильной машины [1-3, 5].

Источниками низкопотенциальной теплоты для абсорбционных насосов могут быть геотермальные воды, техногенная теплота, выбрасываемая в окружающую среду через градирни, технические водоемы и др. (сбросная теплота). Высокопотенциальными источниками может быть газовое или жидкое топливо для случая огневого обогрева, а также пар. Следовательно, абсорбционные тепловые насосы являются наиболее эффективным средством применения неиспользуемой тепловой энергии.

Заключение. В настоящее время во всем мире особое внимание уделяется вопросам энергосбережения. Особый интерес вызывают энергосберегающие технологии с использованием абсорбционных и компрессионных термотрансформаторов, которые являются многофункциональными. Они позволяют вырабатывать тепло за счёт использования низкопотенциальных источников теплоты, а также эффективно утилизировать существующие вторичные энергетические ресурсы. В России весьма перспективной областью использования термотрансформаторов является их использование для горячего водоснабжения, а также для отопления.

Применение тепловых насосов достаточно выгодно для предприятия (не забываем об их долгом сроке службы). Кроме того, можно автоматизировать работу тепловых насосов таким образом, что при различных нагрузках на ГВС будет работать то количество насосов, которое требуется в данный момент, так как потребление горячей воды в разное время не одинаково. Положительная черта и преимущество применения абсорбционных тепловых насосов в том, что греющим источником в них могут быть уходящие газы. Таким образом, с помощью абсорбционных тепловых насосов может быть повышена эффективность производства тепловой энергии.

Список литературы

1. Проценко, В.П. Теплонасосные установки с электрическим приводом для горячего водоснабжения / В.П. Проценко, В.А. Радченко // Электрические станции. – 1987. – № 7.
2. Куликов, А. Принцип работы тепловых насосов: альтернативный способ отопления дома / А. Куликов. – URL: <http://stroisovety.org/princip-raboty-teplovux-nasosov/>
3. Воздушные тепловые насосы. – URL: <http://inventory.ru/category/teplovie-nasosi>
4. <http://www.libed.ru/knigi-nauka/1217072-2-teplovie-nasosi...2011g-istoriya-o.php>
5. Горшков, В. Г. Тепловые насосы. Аналитический обзор / В. Г. Горшков // Справочник промышленного оборудования. – 2004. – № 2.
6. Мартыновский, В.С. Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов / В.С. Мартыновский; под ред. В. М. Бродянского. – Москва: Энергия, 1979. – 288 с.
7. Теплотехническое оборудование и теплоснабжение промышленных предприятий: учебник для техникумов / Б. Н. Голубков, О. Л. Данилов, Л. В. Зосимовский и др.; под ред. Б. Н. Голубкова. – 2-е изд., перераб. – Москва: Энергия, 1979. – 544 с.
8. Елистратов, С.Л. Расчет эффективности парокompрессионного теплового насоса и теплонасосной установки: пособие по выполнению расчетно-графической работы / С.Л. Елистратов. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013.

9. Дзино, А.А. Тепловые насосы и термотрансформаторы: учебно-методическое пособие / А.А. Дзино, О.С. Малинина. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2015.

10. Дзино, А.А. Системы прямых и обратных термодинамических циклов для получения тепла и холода / А.А. Дзино, О.С. Малинина // VII Международная научно-техническая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке» Ч. I: материалы конференции. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2015. – С. 141-144.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE CHP OPERATION BY USING LOW-POTENTIAL THERMAL ENERGY OF SECONDARY ENERGY RESOURCES BY HEAT PUMPS

Rudometkin Danil Leonidovich, Bastrakov Valentin Mikhailovich

Yoshkar-Ola CHPP-2, Volga State University of Technology

The level of economic development of the country is largely determined by the rational and competent use of natural resources. Nowadays, billions of gigacalories of thermal energy from secondary energy resources (hereinafter referred to as SER) produced by humans remain unclaimed for technological reasons and are released into the environment. However, all this waste can be turned into a useful product, hot water of the required temperature. This can be provided by heat pumps, which allow you to get 3...5 kW of heat, while spending 1 kW of electric energy.

Keywords: *heat energy; secondary resources; heat pumps.*

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ И МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.391.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОСТУПНОСТИ РАДИОКАНАЛОВ С ПОЛОСАМИ ОТ 3 ДО 24 кГц В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ 3-28 МГц

*Бельгибаев Руслан Рашидович, Михадарова Ольга Васильевна,
Олехов Максим Владиславович, Чернядьев Андрей Владимирович*

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

Для повышения эффективности передачи информации в КВ-диапазоне исследована задача определения занятости радиоканалов с полосами 3...24 кГц. Разработаны алгоритмы и методики для оценки занятости радиоканала при обработке получаемых данных; определения уровня шума в КВ-диапазоне для адаптации системы цифровой КВ-связи по данным зондирования.

Ключевые слова: широкополосный сигнал; занятость спектра; уровень шума; минутная доступность радиоканала; адаптивный порог.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-07-00629.

Введение. КВ-связь из-за высокой живучести и автономности продолжает активно использоваться в передовых странах мира. Однако незначительный диапазон частот и желание пользователей увеличивать скорость передачи информации остро ставит проблему равномерной занятости частот КВ-диапазона. Не до конца решенной является также задача оценки состояния каналов по условиям распространения радиоволн.

Предполагается, что качественное улучшение систем КВ связи произойдет с внедрением технологий программно определяемого радио (*SDR*) и когнитивного радио (*CRS*). Технология *CRS* позволит эффективно выбирать рабочие частоты, тип модуляции и уровни мощности связного сигнала. В связи с этим она нацелена на решение ряда вопросов, главными из которых являются контроль за состоянием геофизической среды и занятость множества радиоканалов путем их спектрального анализа. Применение *SDR* технологий позволит создавать программными средствами многофункциональные устройства, которые, кроме связных задач, будут нацелены на решение задач диагностики.

В настоящее время путем использования радиоканалов с полосой 3 кГц удалось добиться скорости 9600 bps . Дальнейшее увеличение скорости передачи требует расширения полосы частот каналов. Введенные для широкополосной (WBHF) (по отношению к полосе 3 кГц) КВ-связи в США стандарты предполагают полосы частот до 24 кГц (в перспективе до 48 кГц) с шагом 3 кГц [1]. Широкополосные системы должны обеспечивать скорости передачи данных от 75 bps до 120 kbps . Однако проблема увеличения скорости передачи информации в КВ-диапазоне также упирается в задачу развития CRS технологии в части диагностики широкополосных каналов.

В связи с этим одной из ключевых задач повышения эффективности передачи информации в КВ-диапазоне является разработка методик оценки занятости спектра, его анализа и интерпретации, а также методик использования спектра и динамического управления им. Настоящая статья посвящена исследованию первых трех актуальных задач.

Методика спектральной оценки занятости КВ-радиоканала. Для определения занятости упорядоченного по частоте множества радиоканалов с полосами 3 кГц ; 6 кГц ; 12 кГц и 24 кГц в диапазоне $3\text{-}28 \text{ МГц}$ использовалось быстрое преобразование Фурье (FFT) с числом точек 65536 . Таким образом обеспечивалось разрешение по частоте (bin) 381 Гц . Для пересчета загруженности на указанные полосы применялась следующая методика.

Известно [2], что для произвольного сигнала $u(t)$, имеющего во временной области длительность $T_b = t_2 - t_1$, а в частотной – спектр $U(jf)$, занимающий полосу частот $B_b = f_2 - f_1$, энергию можно оценить по формуле

$$E_b = \int_{t_1}^{t_2} |u(t)|^2 dt = \int_{f_1}^{f_2} |U(jf)|^2 df,$$

где $|U(jf)|^2$ – спектральная плотность энергии (СПЭ).

Разбивая полосу частот на равные отрезки величиной B_0 , формулу для определения E_b преобразовываем к следующему виду:

$$E_b = \int_{f_1}^{f_2} |U(jf)|^2 df \approx B_0 \sum_{r=1}^{N_0} |U(jf_r)|^2 = B_0 N_0 \left(\sum_{r=1}^{N_0} |U(jf_r)|^2 / N_0 \right).$$

При увеличении полосы элемента разбиения по частоте в k раз $B_1 = kB_0$, число разбиений уменьшается до $N_1 = N_0 / k$. Сгруппировав слагаемые по k под знаком суммы, получаем N_1 слагаемых вида

$$\overline{|U(jf_r)|_k^2} = \frac{|U(jf_1)|^2 + \dots + |U(jf_k)|^2}{k} + \dots,$$

где $\overline{|U(jf_r)|_k^2}$ – сумма из N_1 усредненных по частоте k слагаемых.

Отсюда:

$$E_b = B_0 N_0 \left(\sum_{r=1}^{N_0} |U(jf_r)|^2 / N_0 \right) = B_1 N_1 \left(\sum_{r=1}^{N_1} \overline{|U(jf_r)|_k^2} / N_1 \right).$$

Таким образом, при увеличении полосы разбиения в k раз получаем последовательность СПЭ, состоящую из усредненных по частоте значений СПЭ из k соседних отсчетов.

Для средней на интервале $T_b = t_2 - t_1$ мощности имеет место формула

$$\bar{P} = \int_{f_1}^{f_2} \frac{|U(jf)|^2}{T_b} df = \int_{f_1}^{f_2} p(f) df,$$

где $p(f) = |U(jf)|^2 / T_b$ – спектральная плотность мощности сигнала (СПМ).

Отсюда для СПЭ и СПМ справедливо соотношение

$$|U(jf)|^2 = p(f) \cdot T_b.$$

Это означает, что при $T_b = \text{const}$ для оценки СПМ при увеличении полосы элементов разбиения в частотной области необходимо усреднять отсчеты, группируя их по k слагаемым. Таким образом, уровень СПМ шумового сигнала в канале 3 кГц получается путем усреднения по частоте данных по 8 соседним битам с полосой 381 Гц . В каналах с полосами $6; 12$ и 24 kHz число усредняемых отсчетов должно быть в 2; 4; 8 раз больше [3], чем для полосы 3 кГц .

Полученные выборочные спектры носят случайный характер. Для получения статистически устойчивой оценки СПМ был использован метод усреднения полученных последовательно 381 спектр по времени за 1 с [4].

Для дальнейшего анализа полученный для упорядоченного множества каналов спектр помех разбивался на мегагерцовые сегменты. В каждом выделялось по 10 отсчетов с наименьшими значениями СПМ, и для них находилось среднее [3-5]. Это число использовалось нами для нормирования всех полученных отношений СПМ на это среднее. Для нормированных значений вводился порог в 10 dB [6]. Все каналы с нормированной СПМ выше порога считались занятыми, и им присваивался уровень 0. Остальные считались свободными и их уровень обозначался 1.

Для обобщенной оценки доступности использовалась метрика СМА, равная проценту минут на часе, в момент, когда канал был не загружен. При этом каналы с метрикой 0,75-1 считаются не занятыми (доступными) на этом часе. Графически градацию каналов, по метрике СМА, принято разбивать по цветовой гамме: 0-0,25 – красный; 0,25-0,5 – оранжевый; 0,5-0,75 – желтый и 0,75-1 – зеленый.

Экспериментальная техника. Для исследования представленных методик оценки занятости спектра, его анализа и интерпретации был разработан лабораторный образец программно-аппаратной системы мониторинга спектра помех в КВ-диапазоне [7-8]. В его аппаратной части использовалась универсальная платформа USRP210 (рис. 1) фирмы EttusResearch, созданная по технологии SDR. Программная часть экспериментальной установки реализована на основе разработанных методов и алгоритмов с использованием инструментария типа GNURadio [7-8] и пакета программ PTCMathcad15.

Платформа USRP210 позволяет для КВ-диапазона реализовать принцип «АЦП к антенне» с квадратурным преобразованием оцифрованного сигнала к нулевой промежуточной частоте (принцип переноса частоты вниз – DDC). Таким образом, шумовой

сигнал с приемной антенны. пройдя через фильтр нижних частот, оцифровывается 14 битным АЦП с частотой дискретизации 100 МГц . В ПЛИС он смешивается с цифровым синтезированным сигналом опорного генератора. Получившиеся синфазная (I) и квадратурная (Q) компоненты передаются по интерфейсу GigabitLAN в персональный компьютер для дальнейшей спектральной и статистической обработки.



Рис. 1. Универсальная платформа USRPN210

Для приема сигнала была использована антенна типа T2FD фирмы Icom АН-710. диапазон рабочих частот которой составляет $1,9\text{-}30\text{ МГц}$, а физическая длина антенны в рабочем состоянии (размах) равна $24,5\text{ м}$. Антенна расположена на крыше здания Поволжского государственного технологического университета в г. Йошкар-Оле (рис. 2).



Рис. 2. Антенна типа T2FD фирмы IcomАН-710

Результаты измерений. Эксперименты проводились в декабре 2020 года. При анализе экспериментальных данных учитывалось, что рабочие частоты из диапазона 3-8 МГц обычно используются на радиополосах NVIS связи (протяженностью трассы до 400-650 км), а частоты в диапазоне 8-30 МГц – для дальней (протяженностью трассы до 650-2500 км). Результаты экспериментального определения суточных зависимостей загрузки в метрике СМА радиоканалов с полосой 3-24 кГц в КВ диапазоне представлены на рисунке 3 (полученные для 11 и 23 часов UTC).

		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
11	3 кГц	0.82	0.73	0.73	0.76	0.71	0.74	0.8	0.86	0.87	0.88	0.82	0.82	0.79	0.78	0.76	0.76	0.74	0.74	0.79	0.77	0.82	0.85	0.87	0.89	0.86
	6 кГц	0.68	0.53	0.53	0.58	0.5	0.57	0.66	0.73	0.76	0.78	0.68	0.7	0.69	0.66	0.65	0.62	0.57	0.56	0.64	0.62	0.68	0.73	0.77	0.8	0.75
	12 кГц	0.44	0.29	0.27	0.36	0.28	0.31	0.42	0.51	0.56	0.6	0.47	0.48	0.54	0.47	0.49	0.44	0.39	0.33	0.41	0.45	0.44	0.56	0.62	0.65	0.6
	24 кГц	0.29	0.15	0.14	0.14	0.18	0.13	0.15	0.16	0.31	0.38	0.29	0.26	0.29	0.29	0.25	0.18	0.17	0.1	0.22	0.2	0.23	0.25	0.4	0.35	0.38
23	3 кГц	0.86	0.79	0.78	0.8	0.78	0.76	0.8	0.83	0.87	0.88	0.84	0.79	0.82	0.81	0.82	0.8	0.82	0.82	0.81	0.83	0.83	0.88	0.89	0.88	0.89
	6 кГц	0.72	0.61	0.62	0.65	0.6	0.6	0.65	0.68	0.76	0.76	0.73	0.66	0.74	0.71	0.77	0.71	0.73	0.72	0.69	0.73	0.72	0.79	0.8	0.8	0.8
	12 кГц	0.49	0.36	0.39	0.47	0.43	0.4	0.4	0.48	0.58	0.57	0.58	0.49	0.59	0.53	0.65	0.54	0.58	0.57	0.52	0.6	0.55	0.66	0.69	0.68	0.68
	24 кГц	0.32	0.14	0.19	0.25	0.28	0.24	0.19	0.27	0.38	0.37	0.38	0.27	0.33	0.35	0.43	0.39	0.34	0.39	0.33	0.35	0.39	0.46	0.53	0.45	0.49

Рис. 3. Суточные зависимости загрузки в метрике СМА радиоканалов с полосой 3–24 кГц

По результатам видно, что для г. Йошкар-Олы наиболее занятые в дневное время каналы принадлежат частотным диапазонам 4-6 МГц, 7-8 МГц и 19-21 МГц. При этом с увеличением полосы частот загрузка радиоканалов возрастает, а с увеличением частоты радиоканалов, их загрузка как правило уменьшается. В ночное время суток загрузка радиоканалов уменьшается. Полученный результат напрямую связан с изменением критической частоты слоя F2 от дня к ночи, что приводит к изменению дальности при приеме антропогенных шумов. В связи с этим наблюдается некоторое уменьшение загрузки радиоканалов полосой в диапазоне 3-4 МГц и увеличение загрузки радиоканалов в полосе 5-9 МГц. Наблюдаемая низкая занятость радиоканалов в диапазонах 3-4 МГц и 6-7 МГц создает условия для организации широкополосной NVIS связи по нескольким примыкающим (или непримыкающим) каналам с полосами, кратными 3 кГц.

Заключение. Дано научное обоснование методик оценки занятости широкополосных каналов в КВ-диапазоне, а также методик анализа и интерпретации спектральных данных. Разработан лабораторный образец программно-аппаратной системы для мониторинга спектра помех в КВ-диапазоне на базе SDR технологии с разрешением 3; 6; 12 и 24 кГц. Экспериментально установлено, что для г. Йошкар-Олы наиболее занятые в дневное время каналы принадлежат частотным сегментам 3-9 МГц и 26-28 МГц. С увеличением частоты занятость каналов, как правило, уменьшается. Выявлено, что при использовании для связи режима работ NVIS загрузка каналов увеличивается. Таким образом, экспериментально показана принципиальная возможность реализации широкополосной КВ-связи с полосами до 24 кГц, позволяющей существенно повысить скорость передачи информации.

В дальнейшем применительно к системам радиозондирования ионосферы планируется проведение исследований радиоканала путем расширения полосы частот каналов до 48 кГц.

Список литературы

1. MIL-STD-188-110C – Interoperability and Performance Standards for Data Modems. – 2011. – 23 september.
2. Proakis, J.G. Digital Communications / J.G. Proakis, M. Salehi. – 5th ed. – New York: McGraw-Hill, 2008.
3. William N. Furman, John W. Nieto, Erik N. Koski. Initial Wideband HF ALE: Approach and On-Air Test Results // The Nordic Shortwave Conference HF13. – Faro, Sweden, 2013. – URL: www.nordichf.org.
4. William N. Furman, John W. Nieto, William M. Batts. Wideband HF Channel Availability – Measurement Techniques and Results // 14th International Ionospheric Effects Symposium. – Alexandria, Virginia, USA, 2015. – URL: <http://ies2015.bc.edu>
5. Md G. Mostafa, HarisHaralambous. Wideband Channel Availability Statistics over the High Frequency Spectrum in Cyprus. – 2nd URSI AT-RASC, Gran Canaria, Spain, 2018. – URL: www.ursi.org
6. Recommendation ITU-R P.372-14 // Radio noise. – 2019. – 20 september.
7. Определение занятости КВ-радиоканалов с полосами 3...24 кГц для повышения эффективности передачи информации / Д.В. Иванов, В.А. Иванов, Н.В. Рябова, Р.Р. Бельгибаев // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2020. – № 3 (47). – С. 6-17.
8. Анализ занятости каналов с полосами от 3 до 24 кГц в задаче когнитивного КВ-радио / Д.В. Иванов, В.А. Иванов, Р.Р. Бельгибаев, Н.А. Конкин // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. – 2020. – № 1-2. – С. 96-97.

**DETERMINING THE AVAILABILITY OF RADIO CHANNELS WITH STRIPES
FROM 3 TO 24 kHz IN THE FREQUENCY RANGE 3-28 MHz**

*Belgibaev Ruslan Rashidovich, Mikhadarova Olga Vasilyevna,
Olekhov Maxim Vladislavovich, Chernyadyev Andrey Vladimirovich*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

To increase the efficiency of information transmission in the HF band, the problem of determining the occupancy of radio channels with bands of 3...24 kHz is studied. Algorithms and methods have been developed to assess the radio channel occupancy during the processing of the received data; to determine the noise level in the HF range for adapting the digital HF communication system based on sensing data.

Keywords: *broadband signal; spectrum occupancy; noise level; minute availability of the radio channel; adaptive threshold.*

УДК 546.57

**СЕРЕБРЯНАЯ ВОДА ДЛЯ МЕДИЦИНЫ
И ПРИБОРЫ И УСТАНОВКИ ДЛЯ ЕЁ ПОЛУЧЕНИЯ**

Лаврентьев Борис Федорович

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

В статье приводится информация о широких возможностях использования серебряной воды в медицинской практике для лечения различных заболеваний. Отдельно рассматривают-

ся приборы и установки для получения серебряной воды, созданные сотрудниками Поволжского государственного технологического университета, на которые получено более десяти патентов РФ. Приводятся технические характеристики предлагаемых приборов и установок, их функциональные схемы, описание работы и конструктивное исполнение.

Ключевые слова: серебро; серебряная вода; ионы; концентрация ионов серебра; приборы для получения серебряной воды; установки; режимы работы; конструкции.

Введение. Серебро известно издавна не только как благородный металл, но и как высокоэффективное бактерицидное средство. Однако учёные установили, что действующими и наиболее активными элементами серебра являются не сами атомы серебра, а его ионы. Они легко проникают в ткани живого организма и свободно циркулируют в кровотоке и жидких средах тканей, а встречаясь с патогенными микробами, вирусами и грибами, также легко проникают через их внешнюю оболочку и приводят к их гибели, при этом не влияя на полезную микрофлору.

Серебро является необходимым структурным элементом тканей нашего организма. Установлено, что количество серебра в тканях достигает 20 мкг на 100 г сухого вещества. Больше всего серебра содержится в головном мозге человека, ядрах нервных клеток, железах эндокринной системы, радужной оболочке глаз и в костях.

В человеческом организме этот микроэлемент необходим для нормальной деятельности желёз внутренней секреции, мозга, печени и костной ткани. Ионы серебра стимулируют кроветворные органы, способствуют улучшению обменных процессов головного мозга, что значительно улучшает его функцию. В концентрации 0,05-0,1 мг/л серебро оказывает омолаживающее воздействие на кровь и благотворно влияет на протекание физиологических процессов в организме. Оно активно работает против 700 видов бактерий, вирусов, грибков и паразитов, таких как стафилококки, стрептококки, бактерии дизентерии, брюшного тифа и др.

Исторический экскурс. Индийские целители применяли серебряную воду при истощении организма, лихорадочных состояниях, гастритах с повышенной кислотностью, воспалительных заболеваниях мочевого пузыря, обильных менструациях. Это средство они рекомендовали также больным с воспалительными заболеваниями сердечной мышцы (миокардиты) и людям с нарушениями функции печени и селезёнки. Они советовали при приёме серебряной воды пить еще и теплое молоко, разогретое в серебряной посуде. За 2500 лет до н.э. египетские воины использовали серебро для лечения боевых ран, накладывали на них тонкие серебряные пластины, и раны быстро заживали.

Так называемая «святая вода», которую верующие охотно пьют в церквях и приносят домой, и в самом деле обладает чудесными свойствами, поскольку настаивается на серебре. Учёные этим заинтересовались и в результате проведённых опытов пришли к выводу, что серебро обладает ценным свойством консервировать воду на длительное время. Так, вода, обработанная серебром в концентрации 0,02 мг/л, сохраняет высокие санитарно-гигиенические показатели в течение года и более.

В конце XIX века всемирно известный врач Бенье Креде впервые сообщил о хороших результатах лечения септической инфекции ионами серебра. Дальнейшие эксперименты показали, что на серебряной пластинке дифтерийная палочка погибает через три дня, стафилококк – через два, а тифозная палочка – через 18 часов. Эффект уни-

чтожения бактерий препаратами серебра оказался чрезвычайно велик, он в 1750 раз сильнее действия той же концентрации карболовой кислоты и в 3,5 раза – сулемы. По данным академика Украинской Академии наук Л. А. Кульского, действие серебряной воды при одинаковых концентрациях выше действия хлора, хлорной извести, гипохлорида натрия и других сильных окислителей. При применении допустимых концентраций серебряная вода, убивая всю патогенную и условно-патогенную флору организма, остаётся абсолютно безопасной для собственной полезной флоры организма. Ещё один интересный факт: если при лечении инфекции из-за образования антибиотикоустойчивых форм бактерий приходится менять препарат каждые 5 дней, то к серебряной воде ни одна бактерия или вирус не образуют устойчивых форм.

Антивирусные свойства серебряной воды велики. По данным учёных, всего 1 мг/л серебра в течение 30 минут прекращает полную активность вирусов гриппа. Уже при концентрации 0,1 мг/л серебро обладает выраженным фунгицидным действием. При нагрузке 100 000 клеток на 1 литр гибель грибков *Candida albicans* наступает через 30 минут после контакта с серебром, а при нагрузке 1 000 000 000 основная масса погибала спустя час. Российскими врачами был проведен эксперимент по лечению ионами серебра обострения язвенной болезни желудка и двенадцатипёрстной кишки. При этом установлено, что серебряная вода оказывает положительное влияние на течение болезни, стимулирует иммунную систему, нормализует микрофлору кишечника за счёт антибактериального действия на патогенную микрофлору, не вызывая при этом дисбактериоза. Основываясь на результатах проведённых исследований, специалисты рекомендуют использовать серебряную воду для профилактики гриппа, ОРЗ, лечения заболеваний желудочно-кишечного тракта, стоматитов, инфекционных заболеваний уха, горла, носа, цистита, воспаления глаз, при трофических язвах, а также для обработки ран и ожогов. Она даёт хороший эффект при лечении бруцеллёза, бронхиальной астмы и ревматоидного артрита.

Необычные свойства серебряной воды обеспечили её широкое практическое применение. Высокая бактерицидность её используется для консервирования питьевой воды на морских судах, ею активно пользуются космонавты. Применение серебра при консервировании цитрусовых и фруктовых соков (0,5 мг/л) увеличивает сроки хранения с семи суток до одного года. Однако питьевая вода для систематического употребления должна иметь дозу серебра не более 0,05 мг/л. Впрочем, дозы серебра, описанные в лечебных и других целях, никогда не могут привести к токсическим проявлениям.

На основании научных работ научно-исследовательских институтов Академии наук Украины получены рекомендации по использованию растворов серебра **в различных областях медицины.**

Хирургия (при поражении костей, мышц, суставов, лимфатических узлов и др.). Концентрация серебра 20-30 мг/л, температура раствора 30-32 °С, для орошения, промываний, примочек, компрессов, а также для введения в свищевые входы.

Офтальмология (при конъюнктивите, блефарите, кератите, воспалении слёзного мешка и других воспалительных процессах). Концентрация серебра 10-20 мг/л, температура комнатная, для примочек и промываний.

Оториноларингология (при поражении наружного слухового прохода, воспалении среднего уха, мастоидите, фарингите, ларингите, гайморите, тонзиллите, рините, а также при различных формах ангины и гриппозных эпидемиях). Концентрация серебра 20-25 мг/л, раствор подогретый, применяется с целью лечения и профилактики в виде полосканий, промываний и примочек.

Терапия и эндокринология (при лечении язвы желудка и 12-пёрстной кишки, хронического гиперацидного гастрита, сопровождающегося изжогами, а также при лечении секреторных неврозов с повышенным выделением желудочного сока, энтерита и колита, при эндокринологических заболеваниях и нарушении обмена веществ – сахарная болезнь, диатезы). Концентрация серебра 20 мг/л, по две столовых ложки в день за 15-20 минут до еды, на протяжении одного-трёх месяцев.

Инфекционные заболевания (при дизентерии, брюшном тифе, паратифе, скарлатине, дифтерии и др.). Концентрация серебра 10 мг/л, по столовой ложке через каждые четыре часа, а также в виде тёплых полосканий и клизм.

Дерматология (при фурункулёзе и грибковых поражениях кожи). Концентрация серебра 30-35 мг/л, раствор подогретый.

Стоматология (при стоматите, гингивите и других заболеваниях полости рта). Концентрация серебра 20 мг/л, раствор подогретый, для полосканий.

При повышенной нервной возбудимости нужно ежедневно выпивать по 3 стакана серебряной воды. Пяти дней будет достаточно, чтобы состояние нормализовалось. Для профилактики сердечно-сосудистых и желудочно-кишечных заболеваний выпивать по 1 стакану серебряной воды в день.

Уход за кожей. Ежедневное умывание серебряной водой избавляет ее от сухости и шелушения. После умывания протереть лицо кусочками льда, приготовленными из концентрированной серебряной воды. Эта процедура очень полезна для сужения сосудов, пор кожи. От ледяного массажа мышцы лица сокращаются и укрепляются. Натренированные мышцы лучше поддерживают кожу, сдерживают появление морщин.

Уход за волосами. Подходит для жирных и нормальных волос. Смешать 1 желток куриного яйца, 1 столовую ложку лимонного сока, 1 столовую ложку растительного масла и 1/2 стакана концентрированной серебряной воды. Такой «шампунь» подойдёт для жирных и нормальных волос.

Уход за телом. Приготовить 1 л концентрированного раствора серебряной воды и вылить в ванну, наполненную тёплой водой, температура которой должна быть привычна для купающегося. Можно с успехом совместить серебряную ванну с добавлением в неё масел, солей или различных травяных настоев (концентрации этих веществ подбираются с учётом имеющихся рекомендаций производителей). Смешать 1 литр концентрированной серебряной воды и 2-3 ст. ложки меда (лучше липового или гречишного). Вылить в ванну. Продолжительность этой общеукрепляющей ванны 7-10 мин. Их можно принимать 2-3 раза в неделю. Такие ванны полезны при частых головных болях [1-8, 20-23].

Приготовление «серебряной» воды. Для получения серебряной воды пользуются различными методами. Наши предки использовали самый простой способ – хранили воду в серебряном сосуде либо погружали в ёмкость серебряную монетку, ложку или другой серебряный предмет. К сожалению, концентрация ионов серебра в такой воде

слишком мала. Поэтому для производства серебряной воды в настоящее время используют электролитический метод, при котором в воду опускают два электрода и пропускают электрический ток.

Приборы для получения «серебряной» воды относятся к электрохимическим. Особенностью таких приборов является необходимость получения серебряной воды заданной концентрации ионами серебра. Однако получить необходимую заданную концентрацию ионов серебра в воде очень сложно из-за нестабильности тока ионизации, величина которого зависит от многих внешних факторов, в частности от состава воды, от температуры воды, от расстояния между электродами, от 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. Известно, что концентрация ионов серебра в воде $V_{\text{конц}}$ прямо пропорциональна току ионизации $I_{\text{ион}}$ и времени ионизации $T_{\text{ион}}$ и обратно пропорциональна объему воды Q :

$$V_{\text{конц}} = I_{\text{ион}} \cdot T_{\text{ион}} / Q.$$

Обычно в существующих приборах концентрация ионов серебра в воде задается по времени ионизации $T_{\text{ион}}$. Однако ток ионизации $I_{\text{ион}}$ зависит от многих внешних и внутренних факторов и изменяется в процессе ионизации воды, что не позволяет получить серебряную воду с высокой заданной точностью концентрации ионов серебра. Поэтому если концентрацию ионов серебра в воде задавать не величиной времени ионизации, а количеством электричества за время процесса ионизации, погрешности процесса ионизации значительно снижаются и одновременно упрощается эксплуатация приборов.

В Поволжском государственном технологическом университете разработаны два прибора для получения серебряной воды в заданном объеме «Эрвий 2» и «Эрвий 3» и установки для непрерывного получения серебряной воды, на которые получены патенты РФ [10, 11, 13, 17-19].

Принцип работы первого прибора «Эрвий 2» (рис. 1) основан на стабилизации тока ионизации стабилизатором тока на операционном усилителе и контроле 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. 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 |



Рис. 1. Прибор «Эрвий 2»

- концентрация серебра в воде, мг/л 0,1 - 50
- питание, В аккумулятор
- Стоимость прибора при серийном производстве ориентировочно составит (без электродов) 2-3 тыс. руб.

Принцип работы прибора «Эрвий 3» основан на стабилизации тока ионизации и контроле концентрации серебра в воде по количеству тока за время ионизации. Специальная таблица режимов работы позволяет закладывать требуемую концентрацию по величине заданного количества электричества. Питание прибора производится от сетевого источника питания. У данного прибора более высокая точность концентрации ионов серебра 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

Испытания прибора показали, что «Эрвий 3» имеет более высокие технические характеристики и обеспечивает более точную концентрация ионов серебра в воде по сравнению с прибором «Эрвий 2». Одновременно прибор значительно более прост в эксплуатации и обеспечивает более высокую надежность.

На рисунке 2 приведена функциональная схема прибора «Эрвий-3».

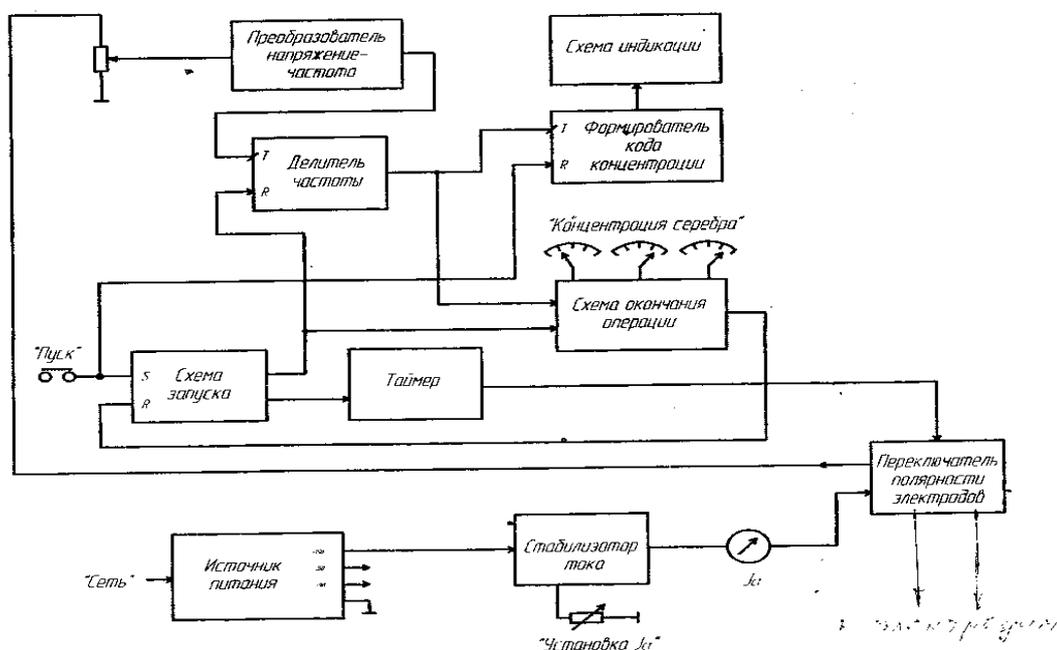


Рис. 2. Функциональная схема прибора «Эрвий 3»

В состав прибора входит преобразователь напряжение–частота, который выдает частоту, пропорциональную току ионизации. Частота с преобразователя через делитель частоты поступает на формирователь кода концентрации ионов серебра и на схему

окончания операции. Формирователь кода концентрации ионов серебра представляет собой счетчик количества электричества с индикацией в цифровом коде. Схема окончания операции представляет собой реверсивный счетчик, который формирует сигнал для отключения прибора. Таймер формирует сигналы с периодом в 16 секунд на переключатель электродов. Ток ионизации устанавливается потенциометром на передней панели прибора, и его величина контролируется по стрелочному прибору (рис. 3).

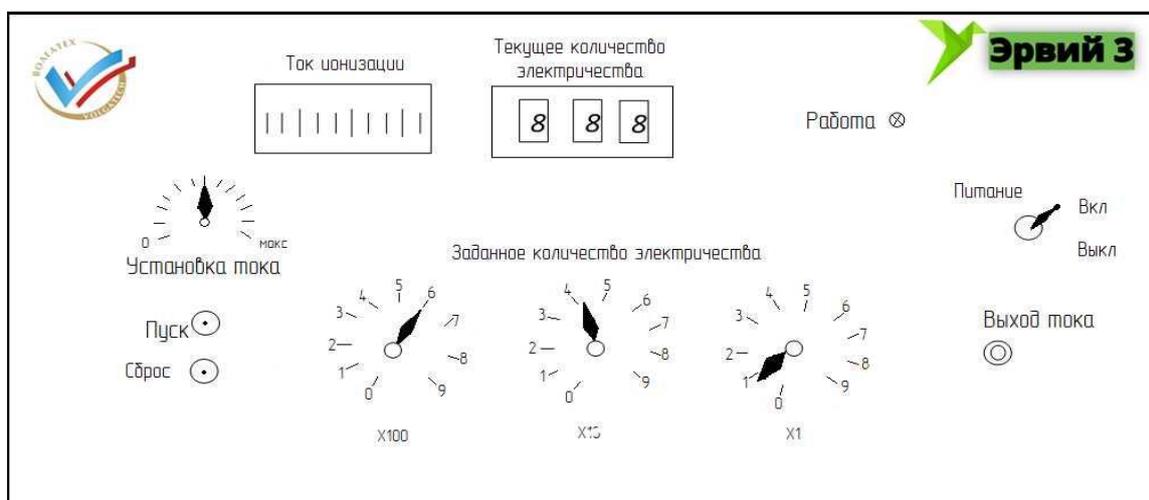


Рис. 3. Передняя панель прибора «Эрвий 3»

Перед началом работы переключателями «Концентрация серебра» на передней панели прибора устанавливается требуемое количество электричества для получения воды заданной концентрации ионов серебра. Затем нажимается кнопка «Пуск», которая переключает триггер схемы запуска. При этом включается стабилизатор тока ионизации и разрешается работа делителя частоты и схемы окончания операции. На схеме индикации отображается текущее значение количества электричества. Отключение прибора происходит импульсом, поступающим со схемы окончания операции на второй вход схемы запуска после выдачи заданного количества электричества. Известно, что концентрация ионов серебра в воде пропорциональна количеству электричества.

Ввиду того, что концентрация серебра пропорциональна количеству электричества, нестабильность тока ионизации не оказывает влияния на погрешность прибора.

Перед началом работы с помощью переключателей на передней панели прибора «Эрвий 3» устанавливается заданное количество электричества, необходимое для получения нужной концентрации ионов серебра в воде, и ток, от величины которого зависит время операции. Отключение прибора происходит автоматически после выдачи им 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. Основным недостатком всех существующих приборов для получения серебряной воды является то, что серебряная вода

формируется в заданном объеме и её можно получать периодически в ограниченных количествах, а далее разводить водой до нужной концентрации. Все это приводит к трудностям получения и применения серебряной воды в крупных сельскохозяйственных предприятиях, на промышленных предприятиях и в медицинских учреждениях.

Созданная в 2019 году в Поволжском государственном технологическом университете «Установка для непрерывного получения серебряной воды» обеспечивает возможность непрерывного получения серебряной воды за счет введения камеры очистки воды, камеры ионизации, камеры сбора серебряной воды, вентиляей, схема управления вентилями и схемы управления установкой, с помощью которой обеспечивается периодическое заполнение водой камеры ионизации, ионизация воды с высокой заданной точностью концентрации ионов серебра и сброс ее в камеру сбора серебряной воды, в которой установлен выходной вентиль для забора приготовленной серебряной воды с целью её использования.

Производительность установки определяется величиной тока ионизации, которая устанавливается органами управления на передней панели прибора.

Структурная схема установки для непрерывного получения серебряной воды приведена на рисунке 4. Установка для непрерывного получения серебряной воды включает в себя формирователь тока ионизации, стабилизатор тока, миллиамперметр, переключатель электродов, камеру ионизации с электродами и датчиком заполнения, преобразователь тока в частоту, счетчик текущего количества электричества, индикатор текущего количества электричества, схему контроля количества электричества, переднюю панель прибора с органами управления, схему управления установкой, камеру сбора серебряной воды с двумя датчиками давления, систему вентиляей, схему управления вентилями и схему управления током ионизации. Установка для непрерывного получения серебряной воды работает следующим образом:

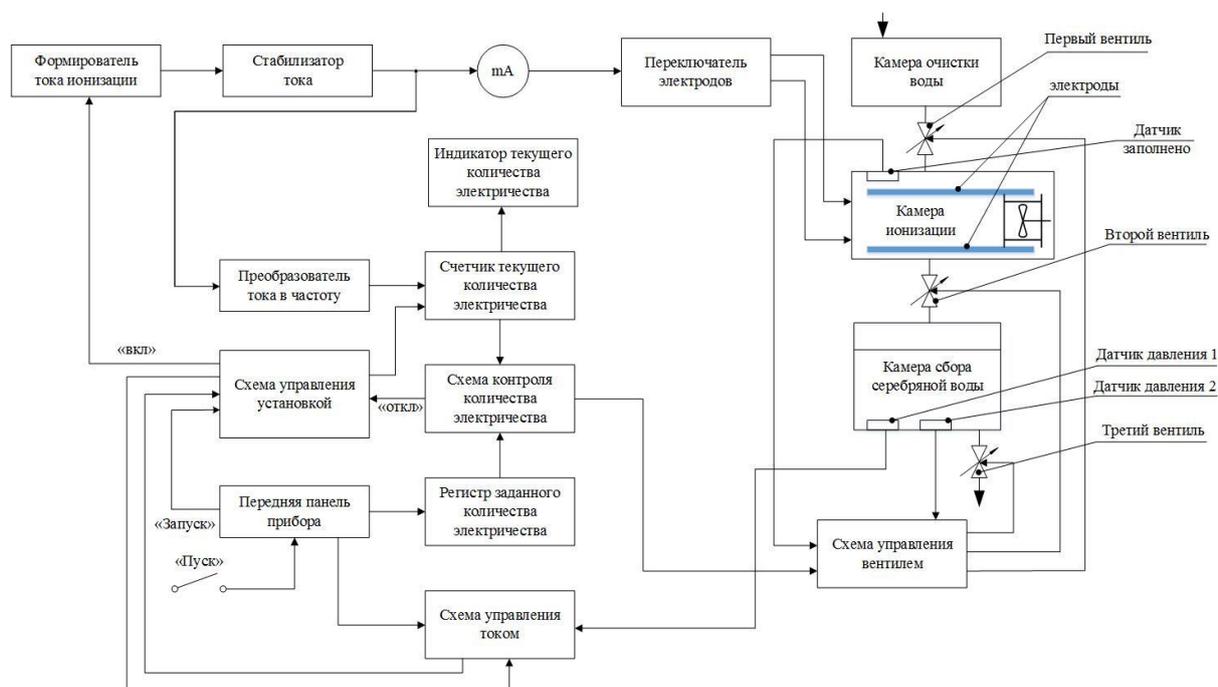


Рис. 4. Установка для непрерывного получения серебряной воды

Перед началом работы с помощью клавиатуры, расположенной на передней панели прибора, задается количество электричества, необходимое для получения серебряной воды нужной концентрации в заданном объеме камеры ионизации. Далее нажимается клавиша «Пуск» на передней панели прибора. При этом схема управления выдает сигнал на схему управления вентилями, которая открывает первый вентиль для заполнения камеры ионизации водой, поступающей из камеры очистки воды. После полного заполнения водой камеры ионизации сигнал с датчика заполнения выдается на схему управления вентилями, которая закрывает первый вентиль, и через схему управления установкой включает формирователь тока ионизации.

Сигнал с датчика давления поступает на схему управления током, которая определяет величину тока ионизации. Ток ионизации с выхода формирователя тока ионизации через стабилизатор тока и миллиамперметр поступает на переключатель электродов и далее на электроды камеры ионизации. Одновременно ток ионизации поступает на прецизионный преобразователь тока в частоту. Частота с преобразователя, пропорциональная величине тока ионизации, поступает на счетчик текущего количества электричества, с выхода которого информация выдается на индикатор текущего количества электричества и на схему контроля количества электричества. Схема контроля количества электричества сравнивает заданное количество электричества с текущим значением и в момент их равенства выдает сигнал на схему управления установкой, которая отключает формирователь тока ионизации и на схему управления вентилями, открывает второй вентиль для слива серебряной воды, заданной концентрации ионов серебра в камеру сбора серебряной воды. Датчик давления контролирует уровень воды в камере сбора серебряной воды и при снижении уровня ниже установленного выдает сигнал на схему управления вентилями, которая открывает первый вентиль для заполнения водой камеры ионизации и выдает сигнал на схему управления установкой, которая запускает очередной цикл ионизации воды в камере ионизации воды.

Макет установки для непрерывного получения серебряной воды был изготовлен, прошел лабораторные испытания и показал хорошие результаты.

Созданная установка непрерывного получения серебряной воды обеспечивает непрерывное получение такой воды любого объема с высокой заданной точностью концентрации ионов серебра за счет ионизации воды в закрытой камере с перемещением воды и с использованием метода, основанного на стабилизации тока ионизации и контроля концентрации ионов серебра в воде по количеству тока за время работы.

Следует отметить, что созданная установка непрерывного получения серебряной воды достаточно дорогая и сложная в эксплуатации. В то же время существует необходимость в создании простой и недорогой установки получения серебряной воды для дезинфекции бассейнов в спортивных, оздоровительных и детских учреждениях, а также в многочисленных загородных домах любителей природы. Особенностью таких установок является необходимость получения серебряной воды с небольшой концентрацией ионов серебра в широких пределах от 0,02-0,04 мкг/л. Второй особенностью приборов является необходимость равномерного распределения ионов серебра во всем объеме воды бассейна. Третья особенность – минимальная стоимость и удобства эксплуатации. Обычно такие установки состоят из прибора, формирующего ток ионизации, и двух серебряных электродов, которые с помощью выносных кабелей опускаются

в воду бассейна. Конечно, ни о каком равномерном распределении ионов серебра в воде не приходится говорить. Кроме того, такие установки имеют низкую надежность и сложны в эксплуатации.

В 2018 году в Поволжском государственном технологическом университете был выполнен эскизный проект создания установки для непрерывного получения серебряной воды для дезинфекции бассейнов. Основной задачей проекта является создание установки, обеспечивающей непрерывное получение серебряной воды с заданной концентрацией ионов серебра для дезинфекции бассейнов, отличающейся простотой конструкции, хорошими эксплуатационными характеристиками и низкой стоимостью.

На рисунке 5 приведена структурная схема предлагаемой установки непрерывного получения серебряной воды для дезинфекции бассейнов, имеющая в своем составе формирователь тока ионизации, схему регулировки тока, стабилизатор тока ионизации, миллиамперметр, переключатель электродов, камеру ионизации с электродами, вентилятор, клавишу «Пуск», переднюю панель прибора, схему управления установкой, регистр заданной концентрации ионов серебра, камеру очистки воды, расходомер воды, вентиль, схему управления током ионизации. Установка для непрерывного получения серебряной воды работает следующим образом:

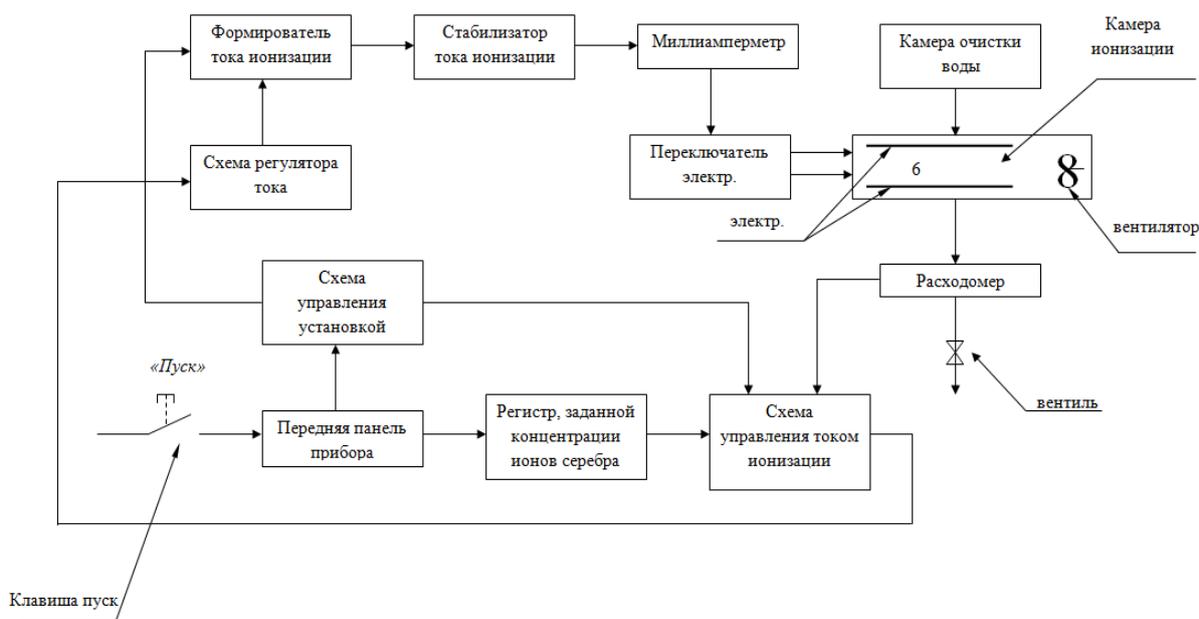


Рис. 5. Структурная схема установки для непрерывного получения серебряной воды для дезинфекции бассейнов

Перед началом работы с помощью клавиатуры, расположенной на передней панели прибора, задается концентрация ионов серебра в воде. Далее нажимается клавиша «Пуск» на передней панели прибора. При этом схема управления установкой включает формирователь тока ионизации. Ток ионизации с выхода формирователя тока ионизации через стабилизатор тока и миллиамперметр поступает на переключатель электродов и далее на электроды камеры ионизации. Схема управления током ионизации через схему регулировки тока задает ток ионизации. При открывании вентиля расходомер

воды через схему управления током ионизации регулирует ток ионизации в зависимости от расхода воды. При увеличении потребления воды ток ионизации автоматически возрастает, при отсутствии потребления воды ток уменьшается до нуля. Концентрация ионов серебра в воде зависит от тока ионизации, количества протекающей воды через вентиль и от размеров камеры ионизации и электродов. Для каждой установки существуют свои индивидуальные коэффициенты, отражающие характеристики камеры ионизации и электроды, которые вводятся в программу работы схемы управления током ионизации. Погрешности концентрации ионов серебра в воде, как показали испытания макета установки, находятся в пределах нормы. Установка обеспечивает возможность непрерывного получения серебряной воды с заданной концентрацией ионов для дезинфекции бассейнов и обеспечивает большую экономическую эффективность.

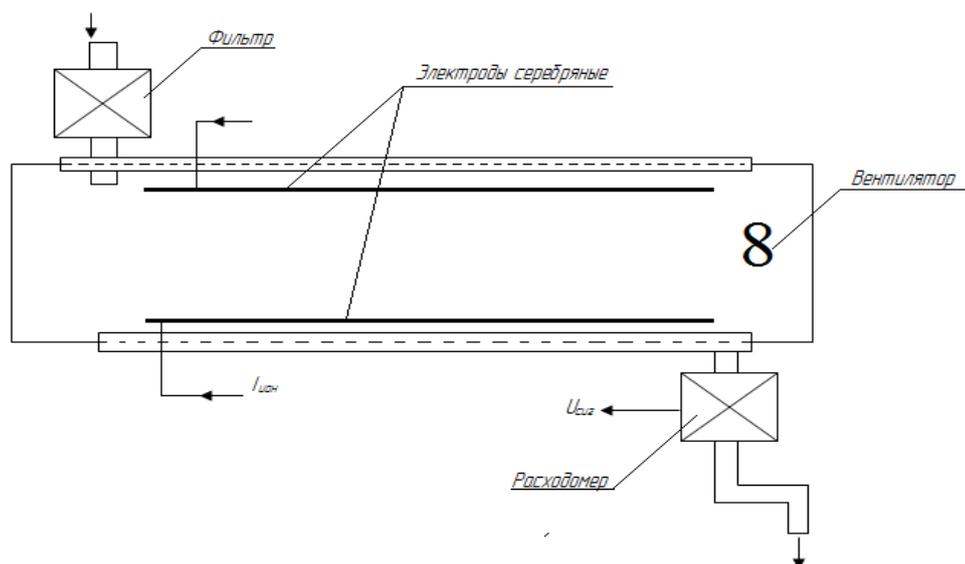


Рис. 6. Конструкция установки непрерывного получения серебряной воды для дезинфекции бассейнов

Серебряная вода с успехом может применяться садоводами и огородниками для увеличения и сохранения урожая, для повышения иммунитета растений к вредным микроорганизмам, для продления жизни срезанных цветов. Замачивание в серебряной воде клубней и семян растений перед посевом увеличивает иммунитет растений к болезнетворным микроорганизмам и увеличивает всхожесть семян.

Для замачивания семян и клубней следует использовать воду той же концентрации, как и для замачивания семян для проращивания. Замачивание производится в течение 2-3 часов. При поливе растений серебряной водой происходит обеззараживание земли от микроорганизмов, плесени, грибов. Для полива растений разбавить в 10 л воды 1 стакан (200 мл) концентрированной серебряной воды. При опрыскивании растений серебряная вода снижает заболеваемость растений грибковыми заболеваниями. С этой целью необходимо использовать воду той же концентрации, как и для полива растений. Серебряная вода продлевает жизнь срезанным цветам. Используйте для срезанных цветов воду той же концентрации, как и для полива растений. Ежедневно надо менять воду на свежеприготовленную.

Список литературы

1. Артемова, А. Серебро исцеляет и омолаживает / А. Артемова. – Москва; Санкт-Петербург: ДИЛЯ, 2002. – С. 142.
2. Белеванцев, В.И. Институт неорганической химии СО РАН. Очерк свойств серебра и его соединений. Применение препаратов серебра в медицине / В.И. Белеванцев, И.В. Бондарчук. – Новосибирск, 1994. – С. 89-95.
3. Брызгунов, В.С. Сравнительная оценка бактерицидных свойств серебряной воды и антибиотиков на чистых культурах микробов и их ассоциациях / В.С. Брызгунов, В.Н. Липин, В.Р. Матросова. – Казань: Казанский мед.ин-т, 1964. – С. 121-231.
4. Вольский, Н.Н. Иммуномодулирующие свойства препаратов коллоидного серебра. Коллоидное серебро. Физико-химические свойства. Применение в медицине / Н.Н. Вольский, В.И. Селедцов, Г.Ю. Любимов // Институт катализа им. Борескова Г.К. Сиб.отд. РАН. – Новосибирск, 1992.
5. Войнар, А.И. Микроэлементы в живой природе / А.И. Войнар. – Москва: Высш. школа, 1962.
6. Некоторые экспериментальные и клинические результаты применения катионов серебра в борьбе с лекарственно-устойчивыми микроорганизмами. Серебро в медицине, биологии и технике / В.Н. Иванов, Г.М. Ларионов, Н.И. Кулиш, М.А. Лутцева и др.; Сиб.отд. РАМН. – Новосибирск, 1995. – С. 3-62.
7. Кульский Л.А. Серебряная вода. – Киев, 1987. – 147 с.
8. О токсичности воды, обогащенной ионами серебра / Д.И. Лазаренко, С.В. Чижов, Г.И. Козыревская и др. // Гигиена и санитария. – 1964.
9. Прибор для получения серебряной воды «Эрвий 3» / Б.Ф. Лаврентьев, Ю.С. Андрианов, А.И. Винокуров, Л.А. Стешина, Г.В. Бусыгин // Вестник современной науки. – 2016. – № 7. – С. 28-31.
10. Патент RU № 143083 U1. Прибор для получения серебряной воды / Лаврентьев Б.Ф., Лабедева А.А., Бусыгин Г.В., Бастраков Ю.А. Опубликовано 10.07.2014.
11. Патент RU № 144849 U1. Прибор для получения серебряной воды / Лаврентьев Б.Ф., Федосеев В.И. Эмекин А.А. Опубликовано 10.09.2014.
12. Лаврентьев, Б.Ф. Прибор для получения серебряной вода «Эрвий 3» / Б.Ф. Лаврентьев // Научный альманах. – Тамбов, 2016. – № 6-2 (19). – С. 426-428.
13. Патент RU № 1553. Прибор для получения серебряной воды / Лаврентьев Б.Ф., Селедкин И., Залманов А.А. Опубликовано 16.02.20215
14. Лаврентьев, Б.Ф. Прибор для получения серебряной воды для пчеловодства / Б.Ф. Лаврентьев, Ю.В. Захаров, Ю.С. Андрианов // Роль биоразнообразия пчелиных в поддержании гомеостаза экосистем: коллективная монография / под общей ред. В.А. Сысуева, А.З. Брандорф. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2017. – С. 140-143.
15. Лаврентьев, Б.Ф. Прибор для получения серебряной воды «ЭРВИЙ 3» / Б.Ф. Лаврентьев, Ю.С. Андрианов, А.И. Винокуров // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Технологическая. – 2017. – Вып. 5. – С. 57-60.
16. Прибор для получения серебряной воды «Эрвий 3» / Б.Ф. Лаврентьев, Ю.С. Андрианов, А.И. Винокуров, Л.А. Стешина, Г.В. Бусыгин // Вестник современной науки. – 2016. – № 7. – С. 28-31.
17. Патент RU № 144849 U1. Прибор для получения серебряной воды / Лаврентьев Б.Ф., Федосеев В.И., Эмекин А.А. Опубликовано 10.09.2014.
18. Лопатина, О. А. Клинико-иммунологические показатели и лечение больных респираторно-синцитиальными вирусными заболеваниями: автореф. дис. ... канд.мед.наук / О. А. Лопатина. – Москва, 1989.
19. Обухов, А.В. Влияние колларгола на иммунные реакции *in vitro*. Коллоидное серебро. Физико-химические свойства. Применение в медицине / А.В. Обухов; Институт катализа им. Г. К. Борескова Сиб. отд. РАН. – Новосибирск, 1992. – С. 53-4.

20. Becker R.O., Spadaro G.A Treatment of orthopaedic infections with electrically generated silver ions // J. Bone a. Joint Surg. 1978. 60-A. 7:871-81.

21. Bragg P-D., Rainnie D.J. The effect of silver ions on the respiratory chain of Escherichia coli. // Can. J. Microbiolog. 1974. 20: 881-9.

SILVER WATER FOR MEDICINE AND DEVICES AND INSTALLATIONS FOR OBTAINING IT

Lavrentiev Boris Fedorovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The article provides information about the wide possibilities of using silver water in medical practice for the treatment of various diseases. Separately, the devices and installations for obtaining silver water created by the employees of the Volga State University of Technology, for which more than ten patents of the Russian Federation have been obtained, are examined. The technical characteristics of the proposed devices and installations, their functional schemes, description of operation and design are given.

Keywords: silver; silver water; ions; concentration of silver ions; devices for obtaining silver water; installations; operating modes; constructions.

УДК 621.865

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛОКОВ ВИДЕОНЯНИ

*Лаврентьев Борис Федорович, Бусыгин Георгий Валентинович
Долгополов Константин Александрович, Сафиуллина Яна Михайловна*

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

Информационные робототехнические конструкции, создаваемые сотрудниками Поволжского государственного технологического университета, выполненные в виде сказочных, былинных и национальных героев, в сочетании с архитектурными и природными ландшафтами позволяют повысить эффективность лечения в условиях детских дошкольных, оздоровительных, культурных и лечебных учреждений, снять психологическое напряжение и способствуют разностороннему воспитанию детей. Подобные конструкции, несомненно, найдут применение в учебных, развлекательных, торговых и рекламных мероприятиях и при проведении праздничных мероприятий. Статья посвящена созданию системы управления детскими сказочными информационными робототехническими конструкциями с внутренним, внешним и комбинированным управлением на базе системы видеоняни и приемопередатчика на микросхемах РТ 2262 и РТ 2272. Такая система управления может быть использована в большинстве роботизированных конструкций, создаваемых в вузе. В статье приведена структурная схема системы управления роботизированной конструкцией. Особое внимание уделено созданию переносного устройства внешнего управления, его конструктивному исполнению и функционированию.

Ключевые слова: *робототехнические конструкции; управление; видеоняня; принципиальные схемы; плеер; источники питания; гарнитура; микрофон; коммутатор; формирователь команд; приемник команд; аккумулятор; индикатор команд.*

Работа выполняется при финансовой поддержке по программе «Умник» 2020 года, заявка № У-082354 «Разработка информационных робототехнических конструкций для культурных объектов современного города».

Введение. Информационные робототехнические конструкции, создаваемые сотрудниками Поволжского государственного технологического университета, выполненные в виде сказочных, былинных и национальных героев, в сочетании с архитектурными и природными ландшафтами позволяют повысить эффективность лечения при использовании их в детских до школьных, оздоровительных, культурных и лечебных учреждениях, снять психологическое напряжение и способствуют разностороннему воспитанию детей.

С другой стороны, подобные конструкции, несомненно, найдут применение в учебных, развлекательных, торговых и рекламных мероприятиях.

Предлагаемые информационные робототехнические конструкции имеют явные преимущества перед существующими робототехническими конструкциями с элементами искусственного интеллекта, а именно:

- их стоимость в 5-10 раз меньше существующих;
- их можно изготовить из существующих комплектующих: радиотелефонов, стеклоподъемников, контроллеров;
- они имеют хорошие эксплуатационные характеристики, просты в эксплуатации и безопасны для детей;
- можно легко наладить их серийное производство и реализацию с большим экономическим эффектом.

Сказочных героев можно установить в яслях, садах, детских больницах, в культурных и оздоровительных центрах, где они будут рассказывать сказки, учить детей правилам хорошего тона, способствуя их всестороннему развитию. В яслях и детских садах это могут быть работы «сказочники», «смехошарики», в детских больницах – «айболиты», «медицинские сестры», в учебных центрах – «педагоги», «работники патрульно-дорожного движения». Информационные робототехнические конструкции могут быть экскурсоводами и гидами на выставках, презентациях, праздничных мероприятиях. Сказочные герои большого размера в праздничные дни могут устанавливаться на площадях, в парках на концертных площадках и участвовать в праздничных мероприятиях. Это значительно снизит расходы на проведение таких мероприятий и повысит эмоциональное воздействие на зрителей.

Функционирование роботов возможно в трех режимах: внутреннего программного управления; внешнего управления по радиоканалу; комбинированного управления.

В режиме внутреннего программного управления работа производится по компьютерной программе, заложенной в памяти робота с использованием внешних датчиков, например, датчиков присутствия. Робот приветствует присутствующих, встречает гостей, снимает шляпу, говорит комплименты, работает гидом, рассказывает сказки детям, ведет воспитательную работу и т.д. При этом он двигается, поворачивает голову к собеседнику, моргает, имитирует разговор, выражает эмоции.

В режиме внешнего управления по радиоканалу управление роботом происходит с помощью оператора, который находится в отдельном помещении на расстоянии

15-20 метров и видит обстановку вблизи робота. Управление осуществляется по радио- и видеоканалам. Робот как бы оживает и вступает в диалог с окружающими с помощью оператора. Этот режим особенно интересен для детей в диалоговом режиме.

Режим комбинированного управления включает первый и второй режимы и является более перспективным.

Наиболее важным этапом работы является создание оптимальной компьютерной программы для записи в память робота.

Настоящая статья посвящена созданию системы управления детскими сказочными информационными робототехническими конструкциями с внутренним, внешним и комбинированным управлением, которые могут использоваться в детских дошкольных учреждениях, в лечебных и культурных центрах и отличаются низкой стоимостью, высокой надежностью, хорошими эксплуатационными и функциональными характеристиками. Такие конструкции, в сравнении с существующими, отличаются высокой информативностью за счет большой внутренней памяти, способствуют разностороннему развитию и воспитанию ребенка, прививают ему навыки правильного поведения и общения со сверстниками.

Работы по созданию различных информационных робототехнических конструкций проводятся в Поволжском государственном технологическом университете с 2000 года в рамках разработки эскизного проекта «Сказочный город Йошкар-Ола». Были разработаны эскизные проекты робототехнических конструкций «Крокодил Гена и Чебурашка», «Попугай», «Декоративные часы с движущейся фигурой Буратино», «Гномик-сказочник».

При проектировании информационных роботизированных конструкций особое внимание следует уделять системе управления роботизированной конструкцией, которая включает в себя устройство внутреннего управления роботизированной конструкцией У1 и выносной блок внешнего управления роботизированной конструкцией У2, так как от них зависят надежность, удобство эксплуатации и стоимость роботизированной конструкции.

Возможно построение *системы управления роботизированной конструкцией* с использованием:

- специально разработанных схем с использованием современной элементной базы;
- радиотелефонной аппаратуры;
- ноутбука или планшетника;
- смартфона;
- системы видеоняни.

Основными требованиями, предъявляемыми к проектируемой системе управления роботизированной конструкцией, являются следующие:

- удобство эксплуатации;
- возможность работы в полевых условиях;
- двухсторонняя голосовая связь;
- формирование и передача 5-15 внешних команд на роботизированную конструкцию;
- возможность ремонта в любой радиомастерской;
- низкая стоимость и высокая надежность.

Целью работы является разработка универсальной системы управления роботизированной конструкцией на базе системы видеоняни и приемопередатчика на базе микросхем РТ 2262 и РТ 2272. Такая система управления может быть применена в большинстве роботизированных конструкций, создаваемых в Поволжском государственном технологическом университете.

Структурная схема системы управления роботизированными конструкциями с использованием блоков видеоняни приведена на рисунке 1 а, б.

Система включает в себя устройство внутреннего управления (У1) и устройство внешнего управления (У2). Устройство внутреннего управления содержит детский блок видеоняни, схему управления глазами робота, схему управления ртом, многоканальный плеер, коммутатор звука с усилителем низкой частоты (УНЧ), динамик, формирователь внутренних команд, приемник внешних команд с формирователем внешних команд, коммутатор команд, формирователь управляющих сигналов на механизмы робота, индикатор выполняемых команд, аккумулятор и блок питания.

Устройство внешнего управления У2 содержит родительский блок видеоняни с видеоэкраном размером 10 см, гарнитуру с наушниками и микрофоном, плеер, формирователь внешних команд, аккумулятор и блок питания. Подзарядка аккумуляторов системы управления роботизированной конструкции производится с помощью внешнего зарядного блока, подключенного к сети.

Система управления роботизированной конструкцией должна работать в режиме внутреннего управления и в режиме внешнего управления. Установка режима производится тумблером «Режим работы» в устройстве внутреннего управления У1. В положении тумблера «Внутренний» триггер Тг1 устанавливается в состояние 0, при котором коммутатор команд передает команды с формирователя внутренних команд, а коммутатор звука передает звуковую информацию с плеера, который включается по команде К6 и отключается автоматически после окончания звукового сеанса.

В режиме внешнего управления тумблер Т1 устанавливается в положение «Внешний» и при поступлении команды К5 с устройства управления У2 триггер Тг1 устанавливается в состояние 1, при котором разрешается выдача внешних команд через коммутатор команд и звуковой информации с родительского блока видеоняни через коммутатор звука. При внешнем управлении оператор видит на экране родительского блока обстановку вблизи роботизированной конструкции, слышит звуковой фон, видит в верхней части экрана выполняемые операции и через микрофон общается с окружающими вблизи робота. Он имеет возможность включить плеер клавишей «Вкл. плеера» в устройстве управления У2, при этом робот озвучивает звуковую информацию с плеера. Это могут быть лекции по различной тематике, рассказы экскурсовода в музее или в других организациях, беседы на различные темы и прочая информация. Оператор с помощью клавиш на передней панели устройства внешнего управления У2 может послать команды управления роботом, однако самой первой командой при переходе в режим внешнего управления должна быть команда К5 «Внешнее управление», при котором триггер Тг1 в устройстве управления У1 устанавливается в состояние «1». Для отключения режима «Внешнее управление» необходимо вторично подать команду К5 «Внешнее управление», при этом триггер Тг1 устанавливается в состояние «0» и автоматически включается режим «Внутреннее управление». Режим «Внешнее управление»

возникает при очередном поступлении команды «K5» в устройстве управления У1. Контроль режима осуществляется по индикации светодиода «Режим работы» устройства управления У1 и на экране видеояни «Выполняемые команды» в устройства управления У2.

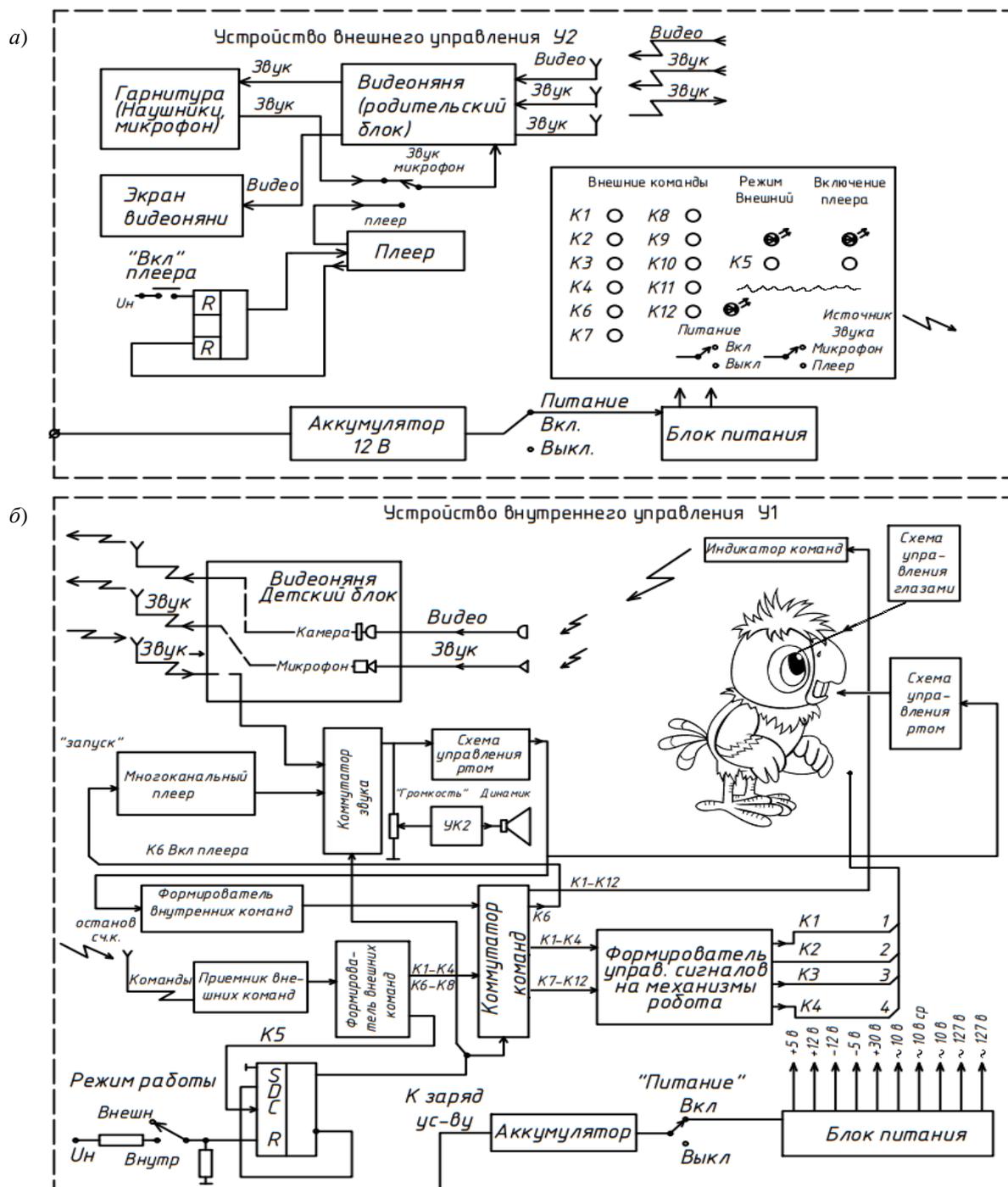


Рис. 1. Структурная схема системы управления роботизированными конструкциями:
 а – блок внутреннего управления 9 У1 0; б – блок внешнего управления (У2)

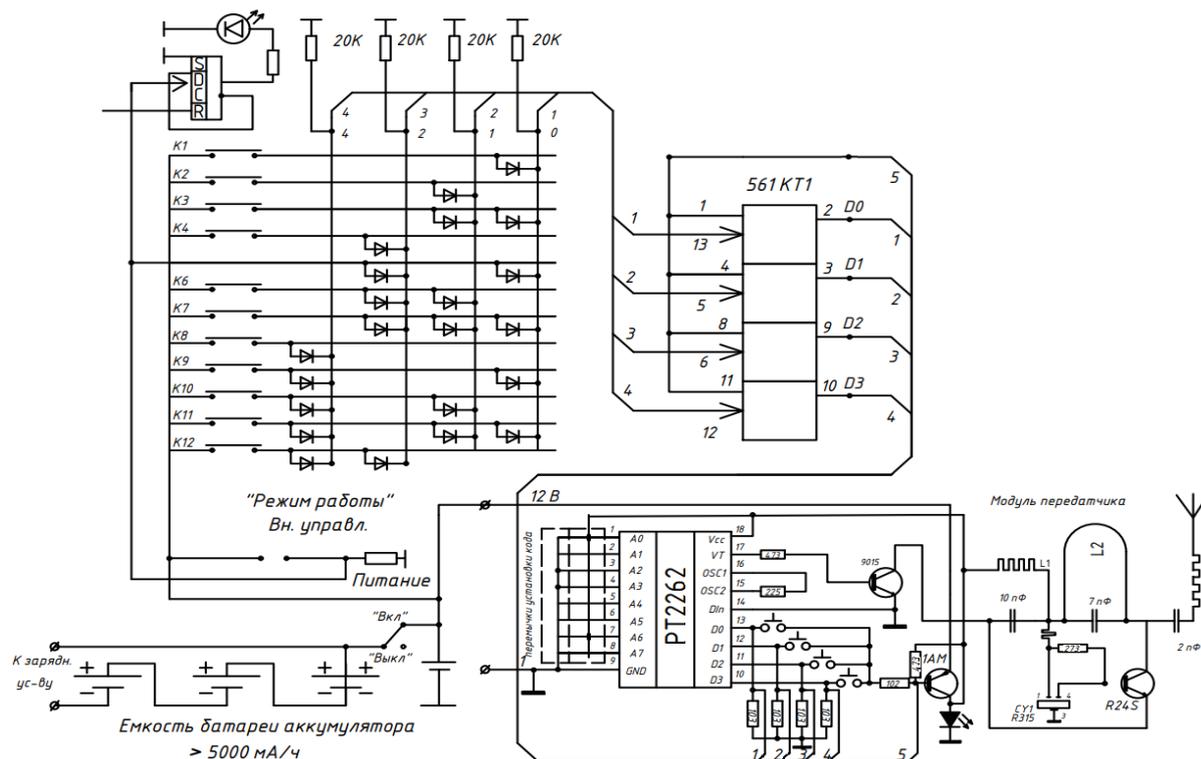


Рис. 2. Принципиальная схема формирователя команд управления У1

Принципиальная схема формирователя внешних команд устройства управления У2 приведена на рисунке 2, которая формирует 12 команд (К1 – К12). Каждая команда формируется путем нажатия на соответствующую клавишу К1 – К12. При этом на микросхеме ДД1 К561 КТ1 формируется двоичный код, который поступает на вход микросхемы РТ 2262 передатчика и передается через антенну на вход приемника внешних команд устройства внутреннего управления У1. Конструктивно устройство внешнего управления У2 выполнено в виде отдельного переносного блока размером 200×150×50 мм, состоящего из корпуса и передней панели, на которой крепятся органы управления с маркировкой. Блок можно устанавливать на столе, держать в руках или с помощью петли носить на груди (рис. 3).

Устройство внешнего управления У2 содержит родительский блок видеояни с экраном, плеер, плату формирователя внешних команд и аккумуляторы с блоком питания, которые крепятся винтами к задней стенке корпуса. Для защиты блока от механических повреждений при транспортировке предусмотрена защитная панель из пластика, которая крепится на передней панели блока. В качестве аккумуляторов можно использовать пальчиковые аккумуляторы на 3,8 В, 7 А/ч в количестве 3 штук, включенных последовательно, обеспечивающие более 50 часов непрерывной работы. Зарядка аккумуляторов производится через внешнее зарядное устройство. Контроль уровня зарядки производится по индикации на передней панели устройств управления У1 и У2.

Устройство внутреннего управления У1 включает три отдельных блока: блок питания, блок команд и блок звука. Приемник внешних команд устройства У1 выполнен на микросхеме РТ2272.

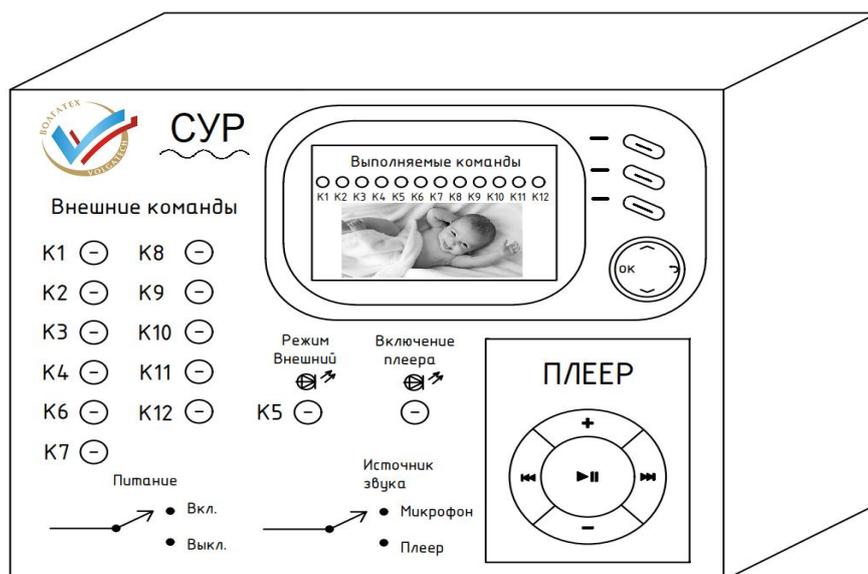


Рис. 3. Устройство внешнего управления У2. Общий вид

Заключение. Спроектированная система управления роботизированными конструкциями отличается высокой надежностью, удобством эксплуатации, возможностью ремонта в любой радиомастерской и низкой стоимостью за счет использования надежных комплектующих и элементов с минимальным энергопотреблением. Система обеспечивает двухстороннюю голосовую связь, видеонаблюдение, формирование 12 команд для управления роботизированной конструкцией и может быть универсальной для широкого класса роботизированных конструкций, создаваемых сотрудниками Поволжского государственного технологического университета в рамках выполнения проекта «Сказочный город Йошкар-Ола».

Список литературы

1. Абраменкова, В.В. Социальная психология детства в контексте развития отношений ребенка в мире / В.В. Абраменкова // Вопросы психологии. – 2001. – № 1. – С. 3-16.
2. Патент на полезную модель RU № 142839 U1. Робототехническая конструкция с внутренним и внешним управлением / Лаврентьев Б.Ф., Сафиуллина Я.М. Оpubл. 10.07.2014.
3. Лаврентьев, Б.Ф. Информационные робототехнические конструкции как средство разно-стороннего развития детей / Б.Ф. Лаврентьев // Труды Поволжского государственного техно-логического университета. Сер. Технологическая. Вып. 2. – 2014. – С. 104-107.
4. Лаврентьев, Б.Ф. Создание информационных робототехнических конструкций для все-стороннего развития и воспитания детей / Б.Ф. Лаврентьев, Я.М. Сафиуллина // Теоретические и прикладные вопросы науки и образования: сборник научных трудов МНПК. – Тамбов: ЮКОН, 2015. – С. 119-121.
5. Лаврентьев, Б.Ф. Детские информационные робототехнические конструкции для лечеб-ных и культурных центров / Б.Ф. Лаврентьев, Я.М. Сафиуллина // Вестник современной науки. – 2015. – № 1 М, февраль. – С. 111-113.
6. Лаврентьев, Б.Ф. Информационные робототехнические конструкции для культурных и выставочных центров / Б.Ф. Лаврентьев // Научный альманах. – 2015. – № 6. – С. 64–68.
7. Патент RU № 139409. Робототехническая конструкция / Лаврентьев Б.Ф., Щипкова Е.В., Орлова Н.А., Иванов Д.И. Опубликовано 20.04.2014.

8. Лаврентьев, Б.Ф. Блок управления детскими сказочными робототехническими конструкциями / Б.Ф. Лаврентьев, Я.М. Сафиуллина // Двадцать третьи Вавиловские чтения: материалы международной научной конференции. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2019. – С. 95-98.
9. Сафиуллина, Я.М. Аквариумы с роботизированными обитателями с источником энергии за счет металлических пластин / Я.М. Сафиуллина, К.А. Долгополов, Б.Ф. Лаврентьев // Двадцать третьи Вавиловские чтения: материалы международной научной конференции. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2021. – С. 95-98.
10. Сафиуллина, Я.М. Роботизированные конструкции для детских образовательных, культурных, развлекательных и оздоровительных учреждений / Я.М. Сафиуллина, Б.Ф. Лаврентьев // XIX Международная НПК «Актуальные проблемы развития гуманитарных наук», 2020. – С. 417-423.
11. Шалаева, С.Л. Мир взрослых и мир детства перед вызовами глобального общества / С.Л. Шалаева // Регионология. – 2013. – № 2. – С. 258-262.
12. Сафиуллина Я.М., Захаров Ю.В., Лаврентьев Б.Ф. Прекрасная сказка для детей // НИЦ, XIX Международная НПК «Актуальные проблемы развития гуманитарных наук» Шифр KOV-15_07_02, 2020. – С. 424-431.
13. Патент РФ №181083. Робототехнический комплекс / Лаврентьев Б.Ф., Андрианов Ю.С., Кудрявцев И.А., Соловьева М.Д. Опубликовано 04.07.2018. Бюл. № 19.
14. Патент РФ № 196609 U 1. Робототехническая конструкция «Гномик» / Лаврентьев Б.Ф., Широкова К.П. Опубликовано 06.03.2020.
15. Патент № 2712349. Игрушка / Лаврентьев Б.Ф., Семёнова А. В, Москвина А.Е., Широкова К.Н. Опубликовано 28.01.2020.

CONTROL SYSTEM FOR INFORMATION ROBOTIC STRUCTURES USING VIDEPNANI BLOCKS

*Lavrentiev Boris Fedorovich, Busygin Georgy Valentinoich,
Dolgoplov Konstantin Alexandrovich, Safiullina Yana Mikhailovna*

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

Information robotic structures created by employees of the Volga State University of Technology, made in the form of fairy-tale, epic and national heroes, in combination with architectural and natural landscapes, allows to increase the effectiveness of treatment in pre-school, health, cultural and medical institutions, relieve psychological stress and contributes to the versatile upbringing of children. Such constructions will undoubtedly find application in educational, entertainment, trade and advertising events and during festive events. The article is devoted to the creation of a control system for children's fabulous information robotic structures with internal, external and combined control based on a baby monitor system and a transceiver on RT 2262 and RT 2272 microchips. Such a control system can be used in most robotic structures created at the university. The article presents a block diagram of the control system of a robotic structure. Special attention is paid to the creation of a portable external control device, its design and functioning.

Keywords: *robotic structures; control; baby monitor; principle circuits; player; power sources; headset; microphone; switchboard; command generator; command receiver; battery; command indicator.*

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

УДК 004.056.53

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ УТЕЧКИ И ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ВО ВРЕМЯ УДАЛЁННОЙ РАБОТЫ В ПАНДЕМИЮ COVID-19

Жаркова Мария Владиславовна, Чекулаева Елена Николаевна

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

В статье рассмотрены возможные информационные уязвимости во время дистанционной работы с точки зрения удаленной работы в пандемию COVID-19, определены способы их предотвращения. Представлен перечень угроз, являющихся наиболее опасными вне рабочего места, а также определены средства и методы защиты информации от ее утечки.

***Ключевые слова:** информационная безопасность; утечка информации; защита данных; удаленный доступ; фишинг; VPN; вредоносное ПО.*

Введение. Коронавирус COVID-19 стал главным событием предыдущего года, которое включает в себя закрытие границ, остановку производства. Организации переводят сотрудников на удаленную работу. Это позволит сотрудникам работать удаленно, с низкой вероятностью подхватить вирус или передать его другим.

Однако работать в офисе и работать дома – это совершенно разные вещи. И не только потому, что в офисе рабочая атмосфера, а дома невозможно сосредоточиться. Компании тщательно защищают свои сети и устройства, а вот приехать на дом и настроить все по стандартам бизнеса корпоративным системным администраторам невозможно. Сотрудники стали получать большое количество электронных писем и сообщений, что увеличивает вероятность того, что они непреднамеренно нажимают на фишинговое письмо. Если с домашнего компьютера произойдет утечка информации, отвечать придется сотруднику, поэтому работа на дому в масштабах, определенных пандемией, привела к неконтролируемым и небезопасным интернет-соединениям, что сделало организации еще более уязвимыми.

Цель работы – определить возможные угрозы информационной безопасности во время дистанционной работы и найти способы предотвратить их.

Решаемые задачи:

1) определить перечень угроз, являющихся наиболее опасными во время удаленной работы;

2) рассмотреть и предложить перечень требований по информационной безопасности для работы в удаленном режиме.

Исследование проблемы. Внезапный перевод сотрудников на удаленную работу может привести к повышению рисков безопасности, особенно если в компании отсутствует подразделение ИБ, а решения по организации удаленного доступа принимаются в спешке, без должного анализа возможных проблем.

В связи с массовым переводом сотрудников на удаленную работу значительно повысились шансы проведения успешных кибератак на организации. Хакеры пользуются сложившейся ситуацией, поскольку уровень защиты домашнего компьютера сотрудника с большой долей вероятности ниже, чем у корпоративной техники: причиной может быть старое ПО, отсутствие антивируса. Десятки, а то и сотни удаленных устройств сложнее контролировать за пределами офиса. В худшем случае злоумышленник сможет полностью парализовать деятельность компании, атаковав VPN-сервис. В зоне риска находятся не только привычный периметр IT-систем и коммуникации, но и продукты для онлайн-общения, новые для многих компаний.

Основные направления умышленных атак – государственные учреждения, промышленные предприятия, медицинские организации и финансовая сфера. С учетом текущей обстановки дополнительно под угрозой оказываются компании, собирающие большой трафик пользователей: сервисы доставки, онлайн-школы, кинотеатры и другие ресурсы, дающие доступ к медиаконтенту.

На официальном сайте ФСТЭК из банка угроз мы выделили наиболее опасные из них для удаленной работы.

1. УБИ.016: угроза доступа к локальным файлам сервера при помощи URL

Угроза заключается в возможности передачи нарушителем дискредитируемому браузеру запроса на доступ к файловой системе пользователя вместо URL-запроса. При этом браузер выполнит этот запрос с правами, которыми он был наделён при запуске, и передаст данные, полученные в результате выполнения этой операции, нарушителю. Данная угроза обусловлена слабостями механизма проверки вводимых пользователем запросов, который не делает различий между запросами на доступ к файловой системе и URL-запросами. Реализация данной угрозы возможна в случае наличия у нарушителя привилегий на отправку запросов браузеру, функционирующему в дискредитируемой системе.

2. УБИ.017: угроза доступа/перехвата/изменения HTTP cookies

Угроза заключается в возможности осуществления нарушителем несанкционированного доступа к защищаемой информации (учётным записям пользователей, сертификатам и т.п.), содержащейся в cookies-файлах, во время их хранения или передачи, в режиме чтения (раскрытие конфиденциальности) или записи (внесение изменений для реализации угрозы подмены доверенного пользователя). Данная угроза обусловлена слабостями мер защиты cookies-файлов: отсутствием проверки вводимых данных со стороны сетевой службы, использующей cookies-файлы, а также отсутствием шифрования при передаче cookies-файлов. Реализация данной угрозы возможна при условиях осуществления нарушителем успешного несанкционированного доступа к cookies-файлам и отсутствия проверки целостности их значений со стороны дискредитируемого приложения.

3. УБИ.042: угроза межсайтовой подделки запроса

Угроза заключается в возможности отправки нарушителем дискредитируемому пользователю ссылки на содержащий вредоносный код веб-ресурс, при переходе на который автоматически будут выполнены неправомерные вредоносные действия от имени дискредитированного пользователя. Данная угроза обусловлена уязвимостями браузеров, которые позволяют выполнять действия без подтверждения или аутентификации со стороны дискредитируемого пользователя. Реализация угрозы возможна в случае, если дискредитируемый пользователь сохраняет аутентификационную информацию с помощью браузера.

4. УБИ.069: угроза неправомерных действий в каналах связи

Угроза заключается в возможности внесения нарушителем изменений в работу сетевых протоколов путём добавления или удаления данных из информационного потока с целью оказания влияния на работу дискредитируемой системы или получения доступа к конфиденциальной информации, передаваемой по каналу связи. Данная угроза обусловлена слабостями сетевых протоколов, заключающимися в отсутствии проверки целостности и подлинности получаемых данных. Реализация данной угрозы возможна при условии осуществления нарушителем несанкционированного доступа к сетевому трафику.

5. УБИ.083: угроза несанкционированного доступа к системе по беспроводным каналам

Угроза заключается в возможности получения нарушителем доступа к ресурсам всей дискредитируемой информационной системы через используемые в ее составе беспроводные каналы передачи данных. Данная угроза обусловлена слабостями протоколов идентификации/аутентификации (таких как WEP, WPA и WPA2, AES), используемых для доступа к беспроводному оборудованию. Реализация данной угрозы возможна при условии наличия у нарушителя специализированного программного обеспечения, реализующего функции эксплуатации уязвимостей протоколов идентификации/аутентификации беспроводных сетей, а также нахождения в точке приема сигналов дискредитируемой беспроводной сети.

6. УБИ.116: угроза перехвата данных, передаваемых по вычислительной сети

Угроза заключается в возможности осуществления нарушителем несанкционированного доступа к сетевому трафику дискредитируемой вычислительной сети в пассивном («прослушивание» трафика) или активном (подмена пакетов, изменение их содержимого) режиме для сбора и анализа сведений (например, аутентификационной информации), которые могут быть использованы в дальнейшем для реализации других угроз, оставаясь при реализации данной угрозы невидимым (скрытным) получателем перехватываемых данных. Кроме того, нарушитель может проводить исследования других типов потоков данных, например радиосигналов. Данная угроза обусловлена слабостями механизмов сетевого взаимодействия, предоставляющими сторонним пользователям открытые данные о дискредитируемой системе, а также ошибками конфигурации сетевого программного обеспечения. Реализация данной угрозы возможна в следующих условиях: при наличии у нарушителя доступа к дискредитируемой вычислительной сети; неспособности технологий, с помощью которых реализована передача данных, предотвратить возможность осуществления скрытного прослушивания потока данных.

7. УБИ.125: угроза подключения к беспроводной сети в обход процедуры аутентификации

Угроза заключается в возможности осуществления нарушителем перехвата трафика беспроводной сети или других неправомерных действий путём легализации нарушителем собственного подключения к беспроводной сети в полуавтоматическом режиме (например, WPS) без ввода ключа шифрования. Данная угроза обусловлена слабостями процедуры аутентификации беспроводных устройств в ходе полуавтоматического подключения. Реализация данной угрозы возможна при условии наличия у нарушителя физического доступа к беспроводной точке доступа, поддерживающей полуавтоматический режим подключения.

8. УБИ.126: угроза подмены беспроводного клиента или точки доступа

Угроза заключается в возможности получения нарушителем аутентификационной или другой защищаемой информации, передаваемой в ходе автоматического подключения точек беспроводного доступа или клиентского программного обеспечения к доверенным субъектам сетевого взаимодействия, подменённым нарушителем. Данная угроза обусловлена слабостями механизма аутентификации субъектов сетевого взаимодействия при беспроводном доступе. Реализация данной угрозы возможна в случае размещения нарушителем клиента или точки беспроводного доступа со специально сформированными параметрами работы (такими как MAC-адрес, название, используемый стандарт передачи данных и т.п.) в зоне доступности для дискредитируемых устройств беспроводного доступа.

9. УБИ.172: угроза распространения «почтовых червей»

Угроза заключается в возможности нарушения безопасности защищаемой информации пользователя вредоносными программами, скрытно устанавливаемыми при получении пользователями системы электронных писем, содержащих вредоносную программу типа «почтовый червь», а также невольного участия в дальнейшем противоправном распространении вредоносного кода. Данная угроза обусловлена слабостями механизмов антивирусного контроля. Реализация данной угрозы возможна при наличии у дискредитируемого пользователя электронного почтового ящика, а также наличии в его адресной книге хотя бы одного адреса другого пользователя.

10. УБИ.175: угроза «фишинга»

Угроза заключается в возможности неправомерного ознакомления нарушителем с защищаемой информацией (в т.ч. идентификации/аутентификации) пользователя путём убеждения его с помощью методов социальной инженерии зайти на поддельный сайт (выглядящий одинаково с оригинальным), на котором от дискредитируемого пользователя требуется ввести защищаемую информацию или открыть заражённое вложение в письме. Данная угроза обусловлена недостаточностью знаний пользователей о методах и средствах «фишинга». Реализация данной угрозы возможна при наличии у нарушителя сведений о конкретных сайтах, посещаемых пользователем, на которых требуется ввод защищаемой информации; средств создания и запуска поддельного сайта; сведений о контактах пользователя с доверенной организацией (номер телефона, адрес электронной почты и др.). Для убеждения пользователя раскрыть информацию ограниченного доступа (или открыть вложение в письмо) наиболее часто используются поддельные письма от администрации какой-либо организации, с которой взаимодействует пользователь (например, банк).

11. УБИ.186: угроза внедрения вредоносного кода через рекламу, сервисы и контент

Угроза заключается в возможности внедрения нарушителем в информационную систему вредоносного кода посредством рекламы, сервисов и (или) контента (т.е. убеждения пользователя системы активировать ссылку, код и др.) при посещении пользователем системы сайтов в сети Интернет или установкой программ с функцией показа рекламы. Данная угроза обусловлена слабостями механизмов фильтрации сетевого трафика и антивирусного контроля на уровне организации. Реализация данной угрозы возможна при условии посещения пользователями системы с рабочих мест сайтов в сети Интернет.

12. УБИ.190: угроза внедрения вредоносного кода за счет посещения зараженных сайтов в сети Интернет

Угроза заключается в возможности осуществления нарушителем внедрения вредоносного кода в компьютер пользователя при посещении зараженных сайтов. Нарушитель выявляет наиболее посещаемые пользователем сайты, затем их взламывает и внедряет в них вредоносный код. Данная угроза обусловлена слабостями мер антивирусной защиты, а также отсутствием правил межсетевого экранирования. Реализация данной угрозы возможна при неограниченном доступе пользователя в сеть Интернет, наличии у нарушителя сведений о сайтах, посещаемых пользователем.

Решение проблемы. Рассмотрев возможные угрозы и рекомендации по обеспечению безопасности объектов критической информационной инфраструктуры при реализации дистанционного режима из Письма ФСТЭК России, мы можем предложить и для других направлений следующие требования по обеспечению безопасности объектов, а именно:

1. Провести инструктаж работников субъектов, осуществляющих удаленный доступ к объектам о правилах безопасного удаленного взаимодействия с такими объектами.

2. Определить перечень средств вычислительной техники, в том числе портативных мобильных средств вычислительной техники (ноутбуков, планшетных компьютеров, мобильных устройств), которые будут предоставлены работникам для удаленной работы.

3. Определить перечень информации и информационных ресурсов (программ, томов, каталогов, файлов), расположенных на серверах объектов критической информационной инфраструктуры, к которым будет предоставляться удаленный доступ.

4. Назначить минимально необходимые права и привилегии пользователям при удаленной работе.

5. Выделить в отдельный домен работников, управление которым должно осуществляться с серверов субъекта и присвоить каждому удаленному СВТ сетевого (доменного) имени.

6. Обеспечить двухфакторную аутентификацию работников, удаленных СВТ.

7. Применить на удаленных СВТ средства антивирусной защиты информации, обеспечить актуальность баз данных признаков вредоносных компьютерных программ (вирусов) на удаленных СВТ путём их ежедневного обновления.

8. Исключить возможности установки работником программного обеспечения на удаленное СВТ, кроме программного обеспечения, установка и эксплуатация которого определена служебной необходимостью, реализуемого штатными средствами операци-

онной системы удаленного СВТ или средствами защиты информации от несанкционированного доступа.

9. Не рекомендуется использование личных средств вычислительной техники, в том числе портативных мобильных средств вычислительной техники.

10. Регулярно проводить аудит администраторами безопасности всех СВТ, через которые проходит любая информация, касающаяся процесса работы.

Понятно, что в большинстве компаний не соблюдаются данные меры предосторожности по причине человеческого фактора или ограниченного бюджета.

Выводы. В ходе данного исследования мы рассмотрели наиболее распространённые способы утечки информации во время удаленной работы и постараемся противостоять им с помощью рекомендаций ФСТЭК России. Но следует помнить: даже если служба безопасности сработает идеально, останутся риски утечек конфиденциальных данных в силу случайностей и человеческого фактора. Люди должны понимать, какую ответственность они несут, обмениваясь файлами через мессенджеры, незащищенный видеозвонок или в виде ссылок в публичном облаке.

Список литературы

1. Письмо ФСТЭК России от 20 марта 2020 г. № 240/84/389 «Рекомендации по обеспечению безопасности объектов критической информационной инфраструктуры при реализации дистанционного режима исполнения должностных обязанностей работниками субъектов критической информационной инфраструктуры».
2. Щеглов, А.Ю. Защита компьютерной информации от несанкционированного доступа: наука и техника / А.Ю. Щеглов. – Санкт-Петербург, 2004. – 384 с.
3. Блинов, А.М. Информационная безопасность: учебное пособие. Часть 1 / А.М. Блинов. – Санкт-Петербург: СПбГУЭФ, 2010. – 96 с.
4. Петренко, С.А. Политики безопасности компании при работе в интернет / С.А. Петренко, В.А. Курбатов. – Москва: ДМК Пресс, 2011. – 396 с.
5. Alan G. Konheim. Computer security and cryptography: John Wiley & Sons, Inc. 2007. – 542 p.
6. Grustniy, L. Как работать из дома и никого не подставить / Leonid Grustniy. – URL: <https://kaspersky-ru.turbopages.org/kaspersky.ru/s/blog/remote-work-security/27682/>
7. Parent, M. 5 ways the COVID-19 pandemic has forever changed cybersecurity / Michael Parent. – URL: <https://theconversation.com/5-ways-the-covid-19-pandemic-has-forever-changed-cybersecurity-156170>
8. Как обеспечить информбезопасность при переводе сотрудников на удаленную работу. – URL: https://www.reksoft.ru/blog/2020/04/10/office_home_protection/

THE MAIN WAYS TO LEAK AND PROTECT INFORMATION DURING REMOTE WORK IN THE COVID-19 PANDEMIC

Zharkova Mariya Vladislavovna, Chekulaeva Elena Nikolaevna

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The mass and hasty transition of companies to remote modes of operation has significantly aggravated the problems of information security. Most companies are faced with such a task for the first time, so the transition to "remote" aroused the interest of attackers.

Keywords: *information security; information leakage; data protection; remote access; phishing; VPN; malware.*

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 694.14

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ НА НАГЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КАРКАСОВ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

*Актуганов Анатолий Николаевич, Котлов Виталий Геннадьевич,
Пугачева Татьяна Николаевна*

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола
pugacheva.t.n@mail.ru

Влажная древесина выступает коррозионной средой в узлах соединений «металл–древесина», являющихся неотъемлемой частью современных деревянных конструкций. В статье исследуется влияние циклических изменений температурно-влажностного режима эксплуатации на коррозию древесины, дается их математическое обоснование.

***Ключевые слова:** контактная коррозия; нагельное соединение; древесина; тепломассоперенос.*

Введение. В настоящее время в России большое внимание уделяется развитию жилищного строительства с применением древесины. К 2030 году долю жилищного строительства с применением деревянных конструкций планируется увеличить от 2 до 10 % [1]. Планируется проектирование и строительство многоэтажных зданий до трех и более этажей с использованием экологически чистых деревянных каркасов.

Цель работы – изучение влияния температуры и влажности на работу нагельного соединения деревянных каркасов многоэтажных зданий.

Материал и методы исследования. Основным видом узловых соединений являются соединения на металлических нагелях и нагелях из высокопрочной древесины. Нагельные соединения в деревянных конструкциях весьма просты в своей конструктивной схеме, но являются сложными в отношении теории расчета. Нагель работает в соединении на изгиб, а примыкающая к нагелю древесина играет роль упругой постели с переменным коэффициентом.

Большинство исследований о влиянии влаги на древесину было сосредоточено на плесени, грибах разложения и нападениях насекомых. Часто упускается из виду, что влажная древесина является коррозионной и что даже небольшое жилое здание будет иметь тысячи металлических крепежных элементов, встроенных в древесину. В то время как древесина не считается особо коррозионной средой, встроенные крепежные элементы корродируют в присутствии органических кислот, воды и кислорода, доступ-

ных в древесине (Packman, 1960). Коррозия нагелей также может быть ускорена, когда к древесине добавляются антисептирующие или огнезащитные химикаты.

Влажность, которую приобретает древесина в результате длительного нахождения на воздухе с постоянной температурой и влажностью, называют равновесной. Между равновесной влажностью древесины и параметрами окружающего воздуха (относительной влажностью и температурой) существует определенная зависимость. Эта зависимость выражена в форме диаграммы на рисунке 1.

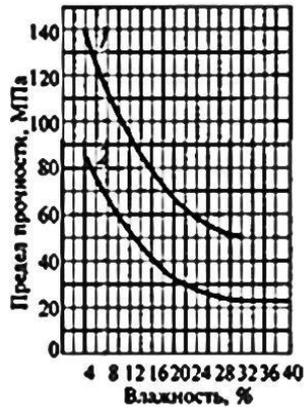


Рис. 1. Влияние влажности на прочность древесины

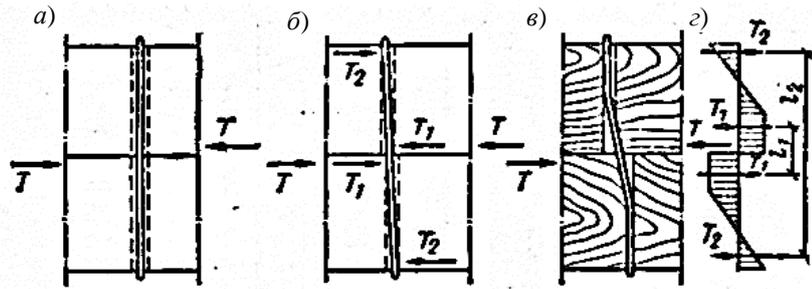


Рис. 2. Работа нагельного соединения: а – первоначальное положение; б – поворот; в – деформированный нагель; г – эпюры сминающих упругопластических напряжений древесины; T_1 , T_2 – равнодействующие сминающих напряжений древесины

Чтобы предсказать, как долго будут держаться крепежные детали, необходимо понять, как скорость коррозии нагеля изменяется со временем. Это еще одно ключевое различие между атмосферной коррозией и коррозией крепежных деталей в древесине. Во время атмосферной коррозии во многих случаях скорость коррозии уменьшается со временем из-за пассивации.

Результаты исследования и их анализ. Работа нагелей весьма сложна, и в соединениях деревянных элементов принято говорить о нагрузке, приходящейся или допускаемой на один «срез» (шов) нагеля. В применении к деревянным конструкциям это выражение весьма условно, так как нельзя срезать стальной нагель деревянными брусками [2-4]. Напряженно-деформированное состояние нагельных соединений изучено достаточно, но влияние температурно-влажностного режима на работу древесины и металлических нагелей и нагелей из твердых пород древесины недостаточно.

Для того чтобы определить несущую способность одного среза нагеля, следует рассмотреть напряженное состояние нагельного соединения (рис. 2).

В нагельных соединениях нагели работают на изгиб, а древесина – на смятие. Древесина служит упругим основанием для нагеля. Равнодействующие образуют две пары взаимоуравновешенных продольных сил. Условие равновесия нагеля может быть записано в виде

$$T_1 \cdot e_1 = T_2 \cdot e_2.$$

Напряжения смятия древесины по всей длине нагеля неравномерны и имеют разные знаки. Смятие древесины под нагелем будет неравномерным также и по его контуру (рис. 3).

Равнодействующие радиальных напряжений, расположенные слева и справа продольной оси $X-X$, могут быть разложены на две составляющие: продольную T и поперечную Q .

Продольная составляющая вызывает появление напряжений скалывания по площадкам, $a - a'$ и $ax - a'x$.

Поперечные составляющие стремятся расколоть деревянный элемент по линии $b - b$.

Как видно из работы нагельного соединения (рис. 1), напряженное состояние нагельного соединения довольно сложное.

Несущая способность нагельного соединения определяется прочностью нагеля на изгиб, древесины – на смятие, скалывание и раскалывание.

При работе нагельных соединений в условиях изменения температурно-влажностного режима работы и изменения эксплуатационной среды возникает коррозия металлического нагеля и древесины, т.е. контактная коррозия.

Скорость коррозии древесины зависит от влияния биологических и климатических факторов окружающей среды. Кроме того, большое значение на разрушение древесины от коррозии имеет воздействие на нее солей, щелочей, кислот. Слабые (с концентрацией до 5 %) растворы минеральных кислот и пыль солей калия оказывают лишь незначительное агрессивное воздействие на поверхностный слой древесины, не разрушая при этом ее структуры и не оказывая влияния на прочность материала. Под воздействием минеральных кислот сначала дерево меняет окрас, темнея, далее наблюдаются разрушение основных составляющих и потеря связей между волокнами. При этом механическая прочность древесины, безусловно, существенно уменьшается.

Коррозия металлов в древесине контролируется активацией и со временем имеет постоянную скорость коррозии.

Минимальное содержание влаги, при котором металлические нагели начинают корродировать, происходит между 15-18 %. При некотором содержании влаги скорость коррозии на горизонтальном участке имеет постоянную величину.

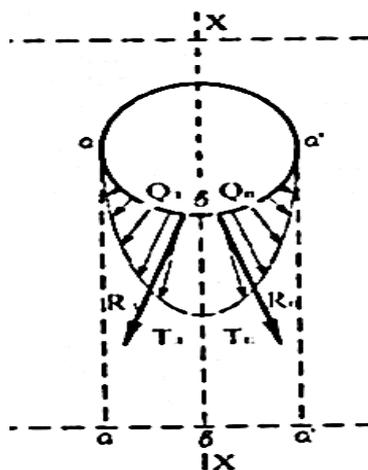


Рис. 3. Напряжения в нагельном соединении

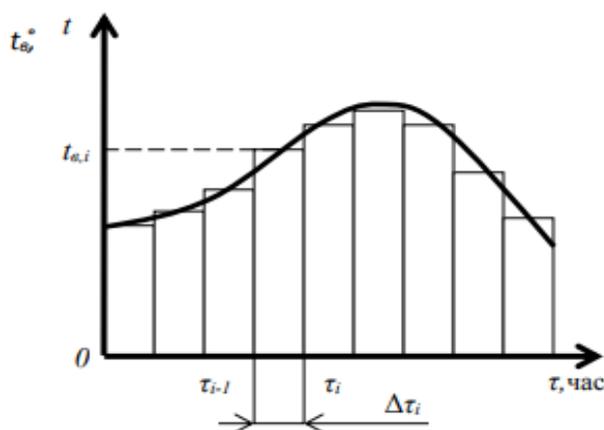


Рис. 4. Гистограмма изменения температуры во времени

При циклических малых интервалах времени действия температуры $\Delta\tau_i = \tau_i - \tau_{i-1}$ меняется эксплуатационная среда нагельного соединения, а за счет влияния температуры и влаги меняется прочность и пластичность древесины, которые влияют на коэффициент постели древесины нагельного соединения.

Для нестационарного температурного поля начальные условия (1) имеют следующий вид [5, 6]:

$$t(x, y, z, \tau)_{\tau=0} = t_0(x, y, z). \quad (1)$$

Начальные условия для нестационарного поля влагосодержания следующие:

$$u(x, y, z, \tau)_{\tau=0} = u_0(x, y, z). \quad (2)$$

Граничное условие первого рода (условие Дирихле) является заданием потенциала переноса (температуры, влагосодержание) на границе рассматриваемой области в любой момент времени:

$$t(x, y, z, \tau)_s = t_o(x, y, z, t), \quad (3)$$

$$u(x, y, z, \tau)_s = u_o(x, y, z, t), \quad (4)$$

где S – поверхность, ограничивающая рассматриваемую область V , на которой задано соответственно поле температур в уравнении (3) и поле массосодержаний в уравнении (4).

Граничное условие второго рода (условие Неймана) задает распределение плотности теплового потока на поверхности тела (5) как функция координат и/или времени:

$$q_{нов} = f(x, y, z, \tau)_s. \quad (5)$$

Дифференциальные уравнения тепло- и массопереноса совместно с начальными и граничными условиями дают полную математическую формулировку соответствующих краевых задач, решение которых может быть выполнено аналитическим, численным или экспериментальным методом.

Для разработки инженерной методики расчета с учетом влияния температурно-влажностного режима, в том числе для определения допустимого числа циклов увлажнения и высыхания древесины при разных температурах эксплуатации, необходимы теоретические и экспериментальные исследования.

Относительная влажность воздуха эксплуатации деревянных конструкций влияет на изменение влажности древесины и на напряженно-деформированное состояние нагельных соединений. Другим важным фактором эксплуатации является температура, которая меняется от -20 °C до $+50$ °C. На металлические нагели во время эксплуатации большое влияние оказывает влажность древесины, приводившая к коррозии металла, которая проходит под пленкой влаги и влияет на сцепление металла с древесиной, а также разрушает клеточные стенки древесины.

В процессе эксплуатации в нагельных соединениях происходят процессы тепло-, влагопереноса, закономерности влияния которых в настоящее время мало изучены. По предположению Фурье [5], теплота движется в направлении противоположному гради-

енту температуры (6), а плотность потока теплоты, переносимой посредством теплопроводности, пропорциональна градиенту температур:

$$q = -\lambda \text{grad} t, \quad (6)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Дж/(с·м·К).

Дифференциальное уравнение теплопроводности из баланса тепла для единицы объема тела с учетом всех его составляющих и градиентного закона переноса тепла Фурье [5, 7, 8] можно записать формулой следующим образом:

$$\frac{d(c_p t \rho)}{d\tau} = \text{div}(\lambda \text{grad} t) + q_{vT}, \quad (7)$$

где C_p – теплоемкость материала, Дж/(кг·К); ρ – плотность, кг/м³; q_{vT} – мощность внутреннего источника теплоты в объеме V вследствие химических или фазовых перемещений, Дж/(с·м³).

Когда источников тепла в среде нет, а мощность внутренних объемных источников $q_{vT} = 0$, тогда уравнение (7) примет вид

$$dt/d\tau d\tau = \alpha \nabla^2 t. \quad (8)$$

Численные исследования показали [6], что дифференциальные уравнения нестационарного взаимосвязанного тепломассо-, влаго-, баропереноса при $F_0 \ll 0,1$ недостаточно точны [5, 7, 8]. Эти аналитические выражения позволяют получать достаточно точные решения при $F_0 > 0,1$ лишь после преобразования функции Лапласа, точность которых возрастает с уменьшением числа Фурье.

Температурно-влажностные параметры материалов в нагельных соединениях в процессе эксплуатации имеют сложный характер, который сопровождается изменением физико-механических и теплофизических характеристик соединения.

В реальных условиях эксплуатации деревянных конструкций происходят изменения во времени сухого и влажного термометра, которые можно записать с формальной математической точки зрения выражением вида

$$t_{c.m.}(\tau) = f_1(\tau); \quad t_{в.л. m. i.}(\tau) = f_2(\tau). \quad (9)$$

В пределах малого интервала времени температура сухого термометра ($t_{c.m.i.}$) и температура влажного термометра ($t_{в.л. m. i.}$) имеют небольшую разницу, и эту разницу можно считать постоянной в пределах времени Δt . Можно применить метод «микро-процессов» [5, 6].

В нагельном соединении элементов деревянных конструкций значения теплофизических коэффициентов древесины и металла при изменении температуры и влажности атмосферы меняются не одинаково и процессы тепло-, влаго- и массопереноса протекают по-разному: в металле более интенсивно, в древесине более экстенсивно.

Решение краевой задачи в области контакта древесины и металлического нагеля после преобразования функции Лапласа можно записать в виде комплексного переменного $S = \sigma + iw$. Тогда решаемое дифференциальное уравнение примет вид алгебраического выражения

$$T_1(\bar{r}, \bar{s}) = A \cdot ch(\sqrt{s}\bar{r}) + B \cdot sh(\sqrt{s}\bar{r}) - \frac{1}{\sqrt{s}} \int_0^{\bar{r}} T_{1,0}(\zeta) \cdot sh\sqrt{s}(\bar{r} - \zeta) d\zeta, \quad (10)$$

где ζ – безразмерная координата $0 \dots r$.

Используя граничные условия, которые меняются во времени в зависимости от момента времени $\tau = \Delta\tau_2$, получим общую продолжительность процесса теплопередачи $\tau_{\text{общ}} = \Delta\tau_1 + \Delta\tau_2$.

Механическая прочность и эксплуатационные характеристики нагельных соединений во многом определяются физико-механическими и теплофизическими свойствами древесины.

Однако изменение температурно-влажностных параметров происходит не само по себе, а только в результате явлений тепломассопереноса в неподвижных и движущихся средах, а также вследствие сопровождающих их фазовых или химических превращений.

Выводы

1. Конструктивные характеристики узлового соединения зависят от геометрии стыка, диаметра нагеля, прочности нагеля на сгиб, прочности деревянного элемента и направления нагрузки на волокна древесины.

2. Коррозионный износ нагельного соединения зависит от цикла увлажнения и высыхания, а также от температуры, которые изменяются в пределах цикла незначительно. Эту разницу можно считать постоянной в пределах времени Δt и, имея небольшую погрешность, применить метод «микропроцессов» для исследования работы нагельного соединения с учетом процессов тепло-, влаго- и массопереноса.

3. Коррозия металлов в древесине зависит от влажности. Содержание влаги в древесине не должно быть выше 18 %. Пороговое содержание влаги, при котором происходит коррозия, составляет 15-18 %, а скорость коррозии значительно увеличивается, если влажность поднимается выше 20 %.

Список литературы

1. Об утверждении плана мероприятий ("дорожной карты") по развитию конкуренции в отраслях экономики Российской Федерации и переходу отдельных сфер естественных монополий из состояния естественной монополии в состояние конкурентного рынка на 2018-2020 годы: Распоряжение Правительства РФ от 16.08.2018 № 1697-р.

2. Патон, Е.О. Опытное исследование соединений элементов деревянных конструкций / Е.О. Патон, Е.А. Клех, А.В. Дятлов // Сборник института транспортного строительства. – Москва: ОГИЗ – Гострансиздат, 1931.

3. Коченов, В. М. Экспериментально-теоретические исследования деревянных конструкций / В. М. Коченов. – Москва: ONTI, 1938. – 276 с.

4. Smith, I. Design Method for Connections in Engineered Wood Structures / Ian Smith, Andi Asiz, Monica Snow / Faculty of Forestry and Environmental Management University of New Brunswick. – Fredericton, 2006. – 80 p.

5. Федосов, С.В. Тепломассоперенос в технологических процессах строительной индустрии / С.В. Федосов. – Иваново: ПресСто, 2010. – 364 с.

6. Рудобашта, С.П. Массоперенос в системах с твердой фазой / С.П. Рудобашта. – Москва: Химия, 1980. – 248 с.

7. 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. 89-61.

8. Zelinka, S. Corrosion of embedded metals in wood: an overview of recent research with implications for building moisture design / S. Zelinka // ASHRAE Transactions. – 2013. – No. 119. – Pp. 442-449.

THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND HUMIDITY ON THE NAGEL CONNECTION OF WOODEN FRAMES OF MULTI-STOREY BUILDINGS

Aktuganov Anatoly Nikolaevich, Kotlov Vitaly Gennadievich, Pugacheva Tatyana Nikolaevna

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

Wet wood acts as a corrosive medium in the nodes of metal-wood joints, which are an integral part of modern wooden structures. The article examines the influence of cyclic changes in the temperature and humidity regime of operation on the corrosion of wood and their mathematical justification.

Keywords: *contact corrosion, nail joint, wood, heat and mass transfer.*

УДК 624.014(075.8)

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ТОНКОСТЕННОЙ МЕТАЛЛОДЕРЕВЯННОЙ БАЛКИ

Актуганов Анатолий Николаевич, Актуганов Олег Анатольевич

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

В практике строительства применяются стальные и деревянные конструкции. Данная статья посвящена численным исследованиям напряженно-деформированного состояния металлодеревянных тонкостенных балок, укрепленных поперечными полуцилиндрическими гофрами. Рассматривается моделирование работы металлодеревянной балки, пояса которой изготовлены из древесины, а стенка – из листов оцинкованной тонколистовой стали толщиной от 0,5 до 2 мм, усиленных выштамбованными поперечными ребрами.

Ключевые слова: *металлодеревянная балка, стальные оцинкованные листы, напряжения, деформация, прогиб, древесина, тепломассоперенос.*

Введение. В практике строительства в зависимости от условий эксплуатации, требований экономии материалов и снижения стоимости применяются как стальные, так и деревянные конструкции [1, 2]. Исследования показывают также и эффективность применения конструкций, сочетающих в себе древесину и сталь.

Применение в конструкциях зданий до трех и более этажей экологически чистых деревянных каркасов является одним из приоритетных направлений в проектировании комфортной среды проживания для людей. Сочетание экологичной древесины и прочных металлов в строительных конструкциях позволяет перейти к строительству более сложных объектов.

Анализ опыта применения металлических и деревянных балок показывает, что в основном при проектировании и строительстве зданий и сооружений используют двутавровое сечение, которое используется в трех типах металлических и деревянных балок. Металлические двутавровые балки подразделяются на балки с гибкой стенкой, волнистой стенкой и гофрированной стенкой. Деревянные двутавровые балки подразделяются на клееные, клефанерные с волнистой стенкой и балки Деревягина.

Цель работы – численные методы исследования напряженно-деформированного состояния металлодеревянных тонкостенных балок, укрепленных поперечными полуцилиндрическими гофрами.

Материал и методы исследования. Металлодеревянная двутавровая балка (рис. 1) включает верхний 1 и нижний 2 пояса из древесины и металлическую стенку 3 с поперечными гофрами из оцинкованной стали. Поперечные гофры, предназначенные для обеспечения местной устойчивости в стенке, выштампованы в виде полуцилиндра радиусом r , который является высотой гофра f . Гофры ориентированы попеременно в противоположные стороны относительно оси балки. Для крепления стенки балки 3 к поясам 1 и 2 в последних выполнен пропил 5 и цилиндрические углубления 6, в которые вставлены плоские и гофрированные участки кромок стенки 3, при этом гофры 6 зафиксированы.

Стенка балки в основном работает на сдвиг и на восприятие поперечной силы. Ребра жесткости в виде полуцилиндрических гофр воспринимают поперечные усилия или сосредоточенные локальные усилия, которые приложены на верхний пояс балки. В зоне максимальных поперечных сил, т.е. в опорной зоне, шаг гофр уменьшается. Участки стенки между гофрами рассматриваются как конструктивно-ортотропные пластинки, работающие за пределами упругой работы в закритической стадии, а сами гофры – как цилиндрические панели-оболочки. Соединение стенки с поясами принимается как нагельное. Сдвигающие усилия воспринимаются клеевым соединением пояса со стенкой и поперечными гофрами из оцинкованной стали.

Исследовалась работа металлодеревянной двутавровой балки с ребрами жесткости в виде полуцилиндрических гофр пролетом 3 м и высотой 300 мм. Полки балки выполнены из цельного деревянного бруса сечением 90×40 мм, в котором сделан продольный горизонтальный пропил на глубину 20 мм. Стенка выполнена из оцинкованного стального листа толщиной 0,7 мм, на которой выштамповывались полуцилиндрические гофры диаметром 40 мм [1]. Соединение полки со стенкой выполнялось на эпоксидном клею. Расчетная схема представлена на рисунке 2.

Теоретическое определение напряженно-деформированного состояния (НДС) экспериментальной балки осуществлялось по двум расчетным схемам. Первая расчетная

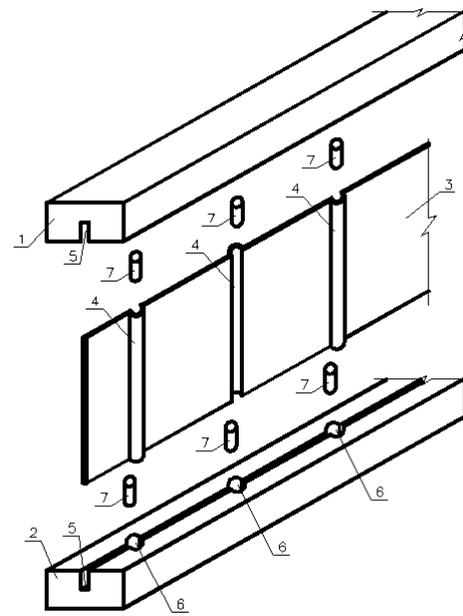


Рис. 1. Металлодеревянная составная балка

схема (РС1) представляла собой конечно-элементную модель (рис. 2). Построение модели велось в ортогональном трехмерном пространстве XYZ в масштабе 1:1. Для моделирования стальной стенки использовались плоские четырехузловые прямоугольные конечные элементы (КЭ-41). Для моделирования поясов и опорных ребер из древесины применялись объёмные восьмиузловые изопараметрические конечные элементы (КЭ-36). Полуцилиндрические гофры моделировались в виде четырех узловых плоских прямоугольных пластин радиусом $R = 20$ мм с использованием конечных элементов (КЭ-41).

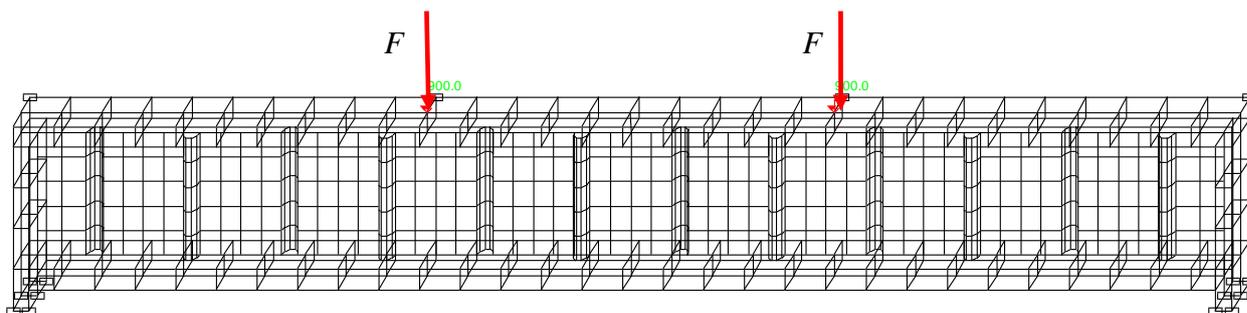


Рис. 2. Расчетная схема балки с полуцилиндрическими гофрами

Расчет РС1 выполнялся в программном комплексе Structure CAD 21.1.9.9. Загружение расчетной модели производилось ступенями. Для обеспечения устойчивости балки из плоскости на верхнем поясе через один метр установлены связи в направлении оси Y . Расчет модели балки производился с учетом ее собственного веса. На рисунках 4 и 5 представлен характер изменения напряжений в полках и стенках, рассчитанных при нагрузке $F = 900$ кг, приложенной к $1/3$ пролета с учетом опорного момента над гофрами. Касательные сдвиговые напряжения возникают только в стенке балки. Расчеты показывают, что нормальные напряжения воспринимаются полками и стенкой, а касательные напряжения в основном воспринимает стенка, а напряжения от сдвига в полках практически равны нулю.

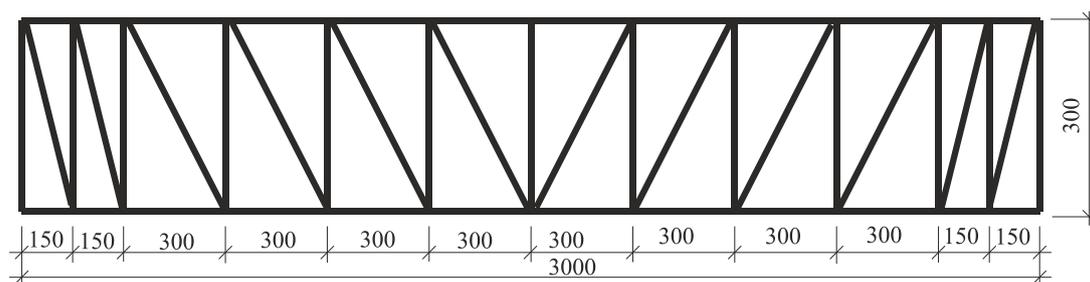


Рис. 3. Расчетная схема балки по второй схеме

Вторая расчетная схема (РС2, рис. 3) представляла собой ферму с параллельными поясами, которые повторяют пояса балки, а решетка включала стойки и нисходящие раскосы, работающие на растяжение – диагональные волны, которые образуются при переходе в пластическую стадию. Пояса и опорные ребра приняты из древесины хвойных пород сечением 100×50 мм. Сечение стоек включало гофру и устойчивые части стенки по обе стороны от него шириной $0,65t_w \sqrt{E/R_y}$ [3].

Площадь растянутых раскосов принималась вариантно: как из условия равенства угла сдвига стенки отсека и решетчатого аналога, так и по методике балок с гибкой стенкой [2].

Расчет РС2 выполнялся в программном комплексе Structure CAD 21.1.9.9. Загружение расчетной модели производилось ступенями, значения нагрузок идентичны РС1. По полученным значениям усилий рассчитывались напряжения в поясах с учетом и без учета опорных моментов, возникающих в поясах над полуцилиндрическими гофрами по формулам:

– без учета моментов над гофрами

$$\frac{N}{A_f R_p + S \cdot t_w R_y} \leq 1,0, \quad (1)$$

где A_f – площадь пояса; S – длина дуги полугофра; R_p , R_y – расчетные сопротивления древесины и стали;

– с учетом опорных моментов над гофрами

$$\frac{N}{A_f R_p + S \cdot t_w R_y} + \frac{M \cdot R_p}{W_{расч} \cdot R_u} \leq 1. \quad (2)$$

Прогибы балок, определенные по программному комплексу Structure CAD 21.1.9.9, показаны на рисунке 5.

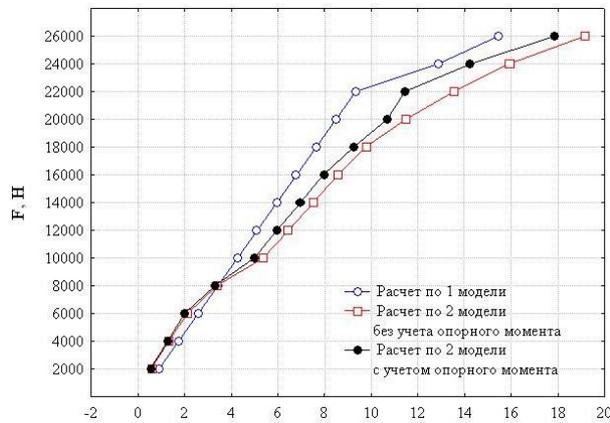


Рис. 4. Напряжения в поясах балки σ , МПа

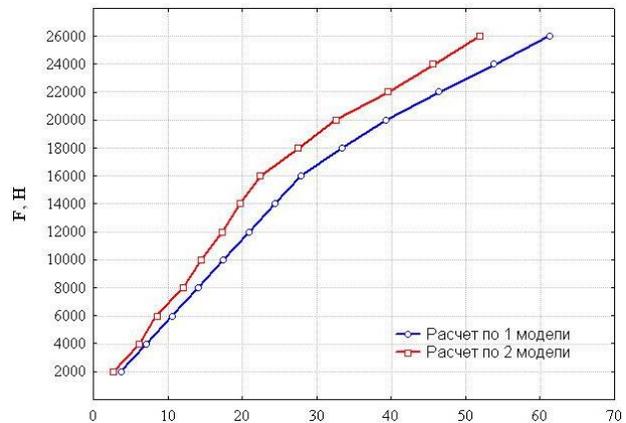


Рис. 5. Прогибы балки f , мм

Также прогибы балки для первой расчетной модели РС1 были подсчитаны с учетом работы стенки за пределами упругой работы по формуле

$$f = \sum \frac{\bar{M} M dx}{E_f I_f} + \sum \frac{\bar{Q} Q dx}{G_1 A_\omega}. \quad (3)$$

Во втором члене уравнения модуль сдвига принимали с учетом работы стенки в за- критической стадии равным $G_1 = 0,65G$, а прогиб от изгиба – в предположении, что момент полностью воспринимается полкой: $f_{max} = F \cdot l^3 / (28,17 \cdot E_f \cdot J_f)$.

Сравнение напряжений в поясах и прогибов балки, рассчитанных по первой и второй расчетным моделям, представлено на рисунках 4 и 5.

Выводы

1. Расхождение нормальных напряжений в поясах, рассчитанное по первой и по второй схемам в упругой области без учета моментов над гофрами, составило 3,0 %, а при учете в поясах моментов над гофрами – 6,1 %.

2. Расхождение нормальных напряжений в поясах, рассчитанное по первой и второй схемам в области развития пластических деформаций в стенках (образование волн в диагональной плоскости) с учетом в поясах опорных моментов над гофрами, составило 7,3 %, а без учета опорных моментов над гофрами – 25,4 %.

3. Прогибы балок, рассчитанные по первой схеме, больше прогибов, рассчитанных по второй схеме, на 5 % в упругой области, на 7,3 % при развитии пластических деформаций в стенках с учетом образования моментов и на 25 % без учета моментов в поясах над гофрами.

4. Модели РС1 и РС2 показали близкую сходимость напряженно-деформированного состояния в балке при учете образования пластического шарнира в стенках.

Список литературы

1. Актуганов, А.А. Металлодеревянная тонкостенная балка / А.А. Актуганов, И.Л. Кузнецов, А.Н. Актуганов // Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов – 2009: межвузовский сборник научных статей. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. – С. 29-31.

2. Кузнецов, И.Л. Разработка и исследование металлодеревянной двутавровой балки / И.Л. Кузнецов, А.А. Актуганов, А.П. Трофимов; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Р.К. Низамова // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – Казань: КГАСУ, 2010. – С. 117-121.

3. СП 294.1325800.2017. Конструкции стальные. Правила проектирования : свод правил : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 31 мая 2017 г. № 828/пр : введен впервые : дата введения 2017-12-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456088764>.

4. Степаненко, А.Н. К вопросу о применении балок с гофрированными стенками / А.Н. Степаненко // Строительная механика и строительные конструкции. Вып. XXV. – Хабаровск: ХПИ, 1971. – С. 94-97.

5. Теоретические и экспериментальные исследования балок с тонкими волнистыми стенками / Я.И. Ольков, А.Н. Степаненко и др. // Легкие металлические конструкции. – Свердловск: УПИ, 1975. – С. 159-171.

NUMERICAL RESEARCH OF A THIN-WALLED METAL-WOOD BEAM OPERATION

Aktuganov Anatoly Nikolaevich, Aktuganov Oleg Anatolyevich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The article considers the modeling of a metal-wood beam operation, the belts of which are made of wood, and the wall is made of sheets of galvanized thin-sheet steel with a thickness of 0.5 to 2 mm reinforced with rammed transverse ribs.

Keywords: *metal-wood beam; galvanized steel sheets; stresses; deformation; deflection; wood; heat and mass transfer.*

УДК 625.85

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАГРУЗКИ НА ОСЬ И УДЕЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПОКРЫТИЕ

Вайнштейн Виктор Мейлехович, Вершинин Сергей Эдуардович

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

Данная статья посвящена актуальной проблеме – колееобразованию на магистральных дорогах. Представлен анализ конструкции дорожной одежды в зависимости от фактической нагрузки на ось и удельного давления на покрытие по полосам движения. Приведены результаты расчета конструкции дорожной одежды для полос движения, данные анализа прочности при упругом прогибе, при сдвиге в грунте земляного полотна, при сдвиге в песчано-подстилающем слое.

Ключевые слова: прочность покрытия; полосы движения; дорожная одежда; нагрузка на ось; давление на покрытие.

Введение. С каждым днем все больше и больше возрастает интенсивность движения на дорогах, вследствие чего увеличивается износ дорожного покрытия.

Износ – процесс уменьшения толщины слоя покрытия в результате потери материала под истирающим воздействием колес транспортных средств в сочетании с погодными факторами [1].

Из-за износа верхнего слоя дорожного покрытия по полосам движения автотранспорта образуется колеиность. Колееобразование дорожных покрытий на магистралях со сверхнормативной интенсивностью движения происходит в скоростных рядах. Результаты мониторинга состояния покрытия на магистральных дорогах с большой интенсивностью показали, что колеиность наблюдается на полосе прохождения каждого колеса автомобиля по покрытию. Годовой износ верхнего слоя асфальтобетонного покрытия на дорогах с разным уровнем интенсивности движения колеблется в довольно широких пределах – от 5 до 10 и более мм.

Цель работы – доказать на основе расчетов, что третья и четвертая полосы движения магистральной дороги быстро разрушаются за счет интенсивного движения транспорта.

Решаемая задача – анализ прочности дорожной одежды с изменением нагрузки на ось и давления на покрытие для разных полос движения магистральной дороги.

Результаты расчетов. За основу была принята конструкция дорожной одежды под нагрузку А-11,5 (115 кН, 0,8 МПа). На основе этой конструкции произведен расчет дорожных одежд по ПНСТ-265 [2] для разных полос движения транспорта с разными нагрузками для IА категории дороги (рис. 1):

- верхний слой асфальтобетонного покрытия толщиной 6 см – ЩМА ТР ТС на ПБВ 60 ПО ГОСТ Р 52056;

- нижний слой асфальтобетонного покрытия толщиной 8 см – асфальтобетон для слоев покрытия АБ ТР ТС на БНД 70/100 по ГОСТ 33133;
- верхний слой основания толщиной 9 см – асфальтобетон для слоя основания АБ ТР ТС на БНД 70/100 по ГОСТ 33133;
- основание толщиной 36 см – щебень М-1200;
- песчано-подстилающий слой толщиной 44 см – песок с содержанием глинисто-пылевой фракции 5 %, с коэффициентом фильтрации равным 3 м/сут. и пористостью 0,36.

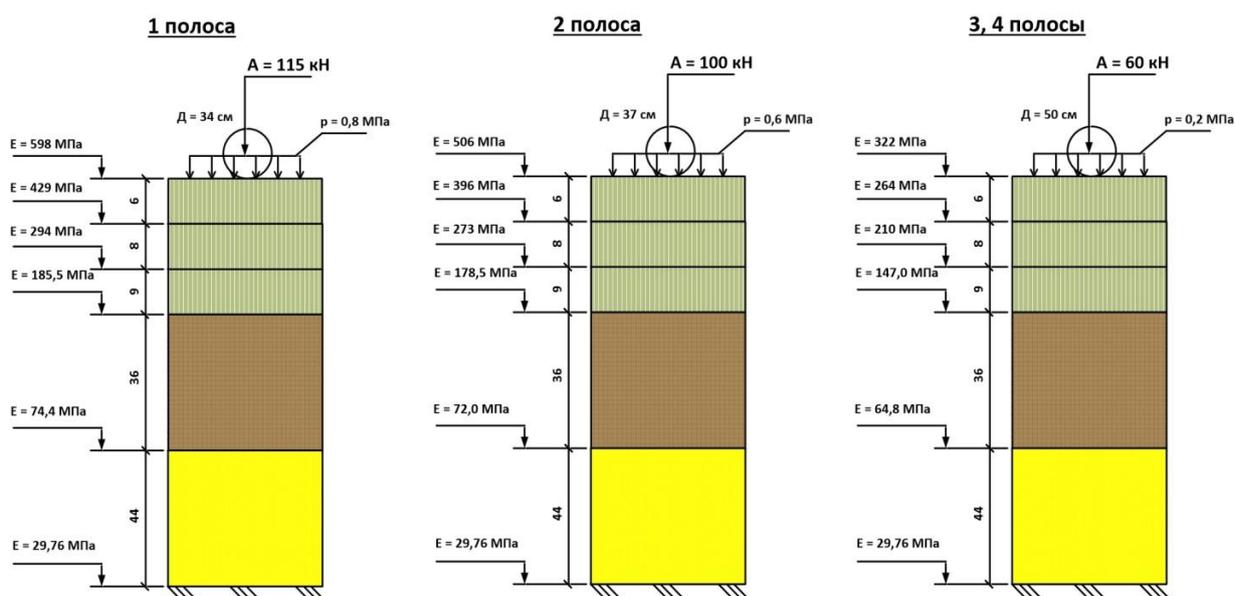


Рис. 1. Конструкции дорожных одежд с разными нагрузками для четырех полос движения

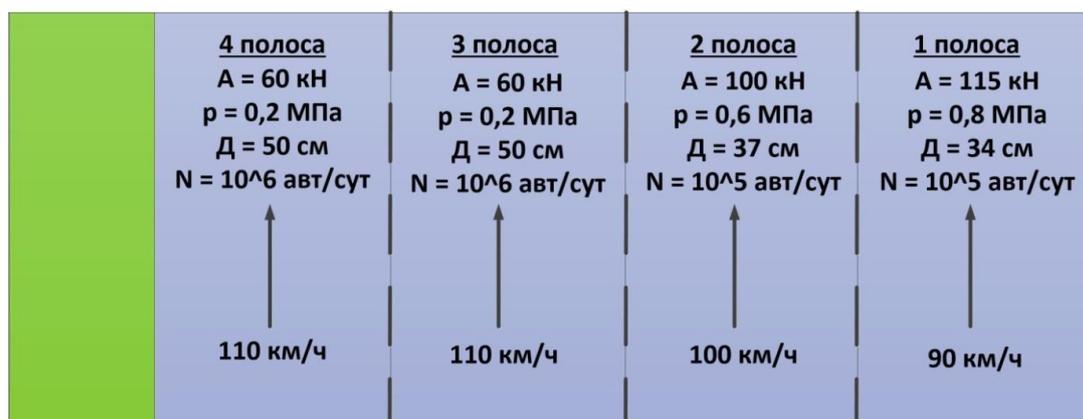


Рис. 2. Схема движения транспортного потока на автомагистралях

Анализ конструкции дорожной одежды для разных полос движения проведен по критериям упругого прогиба (рис. 3) и сдвигоустойчивости (рис. 4 и 5). Результаты расчета конструкции дорожной одежды представлены в таблице.

Результаты расчета конструкции дорожной одежды с разными нагрузками

Номер полосы движения	Диаметр отпечатка, см	Сдвиг в грунте земляного полотна, МПа			Сдвиг в песчано-подстилающем слое, МПа			Упругий прогиб, МПа		
		T_{ϕ}	$T_{пр}$	$K_{пр}$	T_{ϕ}	$T_{пр}$	$K_{пр}$	E_{ϕ}	$E_{тр}$	$K_{пр}$
1 (115 кН; 0,8 МПа)	34	0,0058	0,00718	1,24	0,00887	0,01933	2,18	598	330	1,81
2 (100 кН; 0,6 МПа)	37	0,00527	0,00718	1,36	0,00768	0,01933	2,52	506	330	1,53
3 (60 кН; 0,2 МПа)	50	0,0028	0,00718	2,56	0,00379	0,01933	5,1	322	330	0,98
4 (60 кН; 0,2 МПа)	50	0,0028	0,00718	2,56	0,00379	0,01933	5,1	322	330	0,98

По результатам расчета конструкции дорожной одежды составлены графики.

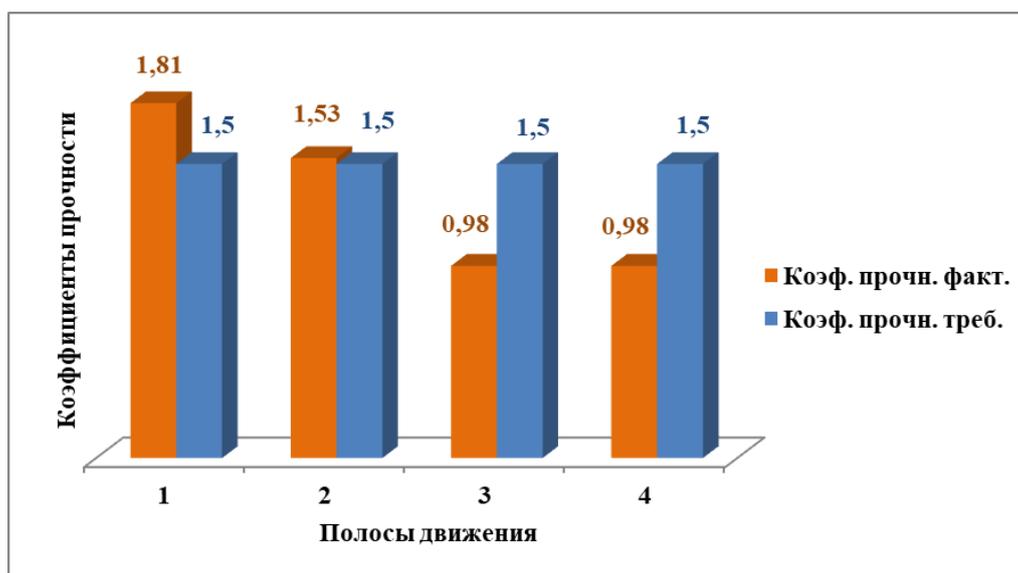


Рис. 3. График изменения прочности при упругом прогибе

Анализ прочности при упругом прогибе показал следующее:

- 1) для первой полосы движения коэффициент прочности в 1,21 раза больше, чем требуемый 1,5; конструкция имеет повышенную прочность;
- 2) для второй полосы движения коэффициент прочности в 1,02 раза больше требуемого 1,5; конструкция имеет прочность, близкую к требуемому коэффициенту прочности;
- 3) для третьей и четвертой полос движения коэффициент прочности 0,98, что меньше требуемого 1,5; конструкция имеет недостаточную прочность, поэтому требуется усиление слоев основания.

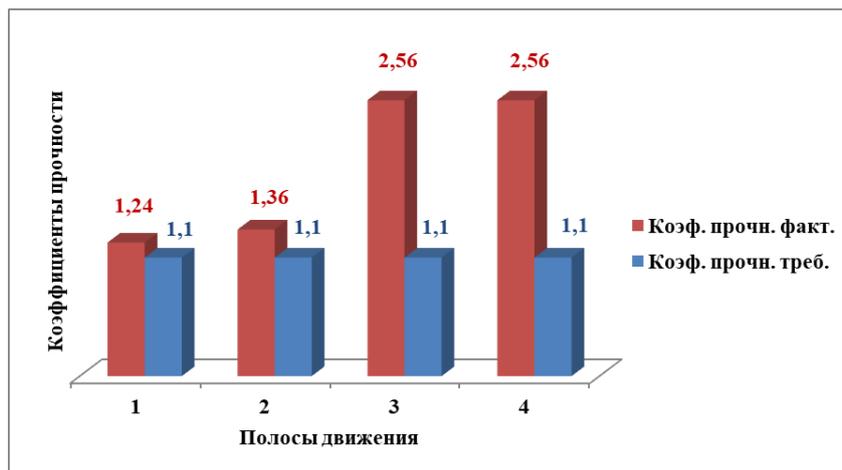


Рис. 4. График изменения прочности при сдвиге в грунте земляного полотна

Анализ прочности при сдвиге в грунте земляного полотна показал следующее:

- 1) для первой полосы движения коэффициент прочности в 1,13 раза больше, чем требуемый 1,1;
- 2) для второй полосы движения коэффициент прочности в 1,24 раза больше, чем требуемый 1,1;
- 3) для третьей и четвертой полос движения коэффициент прочности в 2,33 раза больше требуемого 1,1 – большой запас прочности.

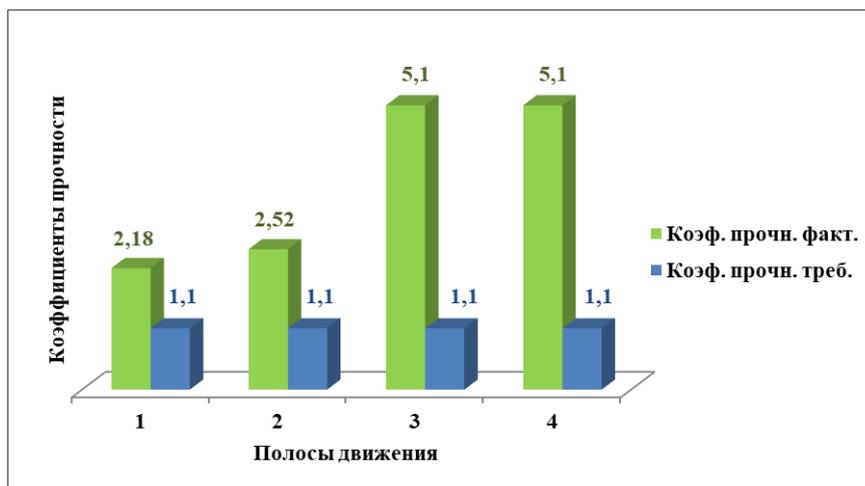


Рис. 5. График изменения прочности при сдвиге в песчано-подстилающем слое

Анализ прочности при сдвиге в песчано-подстилающем слое показал следующее:

- 1) для первой полосы движения коэффициент прочности в 1,98 раза больше, чем требуемый 1,1;
- 2) для второй полосы движения коэффициент прочности в 2,29 раза больше, чем требуемый 1,1;
- 3) для третьей и четвертой полос движения коэффициент прочности в 4,64 раза больше требуемого 1,1;
- 4) очень большой запас прочности, особенно для третьей и четвертой полос.

Вывод. Анализ прочности дорожной одежды с изменением нагрузки на ось и давления на покрытие для разных полос движения магистральной дороги показал следующее:

1. На первой полосе конструкция имеет запас прочности, на второй полосе прочность в пределах допустимой. Сдвиговые деформации в грунте земляного полотна и песчано-подстилающем слое выше, чем требуемые.

2. Для третьей и четвертой полос за счет интенсивного движения транспорта и давления в шине равного 0,2 МПа прочность не обеспечивается. Поэтому требуется усиление слоев покрытия дорожной одежды. А при сдвиге в грунте земляного полотна и в песчано-подстилающем слое конструкции имеют очень большой запас прочности.

Список литературы

1. Добров, Э.М. Теория эксплуатации автомобильных дорог / Э.М. Добров. – Москва, 2018. – С. 372-380.

2. ПНСТ 265. Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование нежестких дорожных одежд. – Введен в действие 15.05.2018. – Москва: Стандартинформ, 2018.

INVESTIGATION OF CHANGES IN THE STRENGTH OF THE ROAD SURFACE DEPENDING ON THE AXLE LOAD AND THE SPECIFIC PRESSURE ON THE SURFACE

Vainstein Viktor Meilekhovich, Vershinin Sergei Eduardovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The problem of track formation on main roads is described. The analysis of the road surface design depending on the actual axle load and the specific pressure on the pavement along the traffic lanes is presented. Brief results of the calculation of the road surface design for traffic lanes are given.

Keywords: *pavement strength, traffic lanes, road clothing, axle load, pavement pressure*

УДК 625.85

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ ВЛАЖНОСТИ
И МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ
(по материалам изысканий в Новоторъяльском районе
Республики Марий Эл для проектирования дорожных одежд)**

Вайнштейн Виктор Мейлехович

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

Рассмотрено состояние глинистых грунтов по материалам геологических изысканий в Новоторъяльском районе Республики Марий Эл, приведенных с целью проектирования дорожных одежд. Определены изменения средней влажности грунтов по глубине опробования в

естественных условиях. Уточнен коэффициент вариации влажности по результатам экспериментальных данных.

Ключевые слова: расчетная влажность грунтов; коэффициент вариации влажности грунта.

Введение. Тема исследования является актуальной, так как расчетная влажность грунта при проектировании и расчете конструкции дорожной одежды по нормативным источникам [1] определяется с помощью усредненного по Российской Федерации коэффициента вариации, равного 0,1. Определение фактического значения коэффициента вариации в Новоторьяльском районе Республики Марий Эл по материалам экспериментальных исследований отличается от нормативного. Это в конечном значении изменяет механические характеристики грунтов, что оказывает влияние на толщину конструктивных слоев дорожной одежды. Все эти параметры в совокупности являются определяющими в формировании конструкции дорожной одежды.

Цель работы – исследование расчетной влажности и механических характеристик глинистых грунтов по материалам изысканий в Новоторьяльском районе Республики Марий Эл для проектирования дорожных одежд

Решаемая задача – изучение состояния глинистых грунтов в естественных условиях.

Исследование изменения средней влажности грунтов по глубине опробования проводилось путем геологических изысканий, проведенных при проектировании дорог в Новоторьяльском районе РМЭ. Рассмотрено строение грунтов на автодорогах протяженностью 2,964 км с бурением 29 скважин.

Результаты исследования

Исследование изменения средней природной влажности грунтов по глубине опробования. Геологический разрез по оси трассы в Новоторьяльском районе представлен суглинками четвертичного возраста и глинами пермского возраста. Изменение средней природной влажности грунтов по глубине опробования представлено в таблице 1.

Таблица 1

Средняя природная влажность глинистых грунтов на пашне

№	Наименование района	Средняя природная влажность грунтов, %, по глубине опробования, м, на пашне			
		1	2	3	6
1	Новоторьяльский	25,87	23,00	27,30	32,60

Анализ изменения средней природной влажности грунтов на пашне показал, что она увеличивается с 25,87 до 32,6 % при глубине опробования 1-6 м.

Результаты статистической обработки грунтов на пашне при глубине опробования 1 м. Абсолютные значения природной влажности грунта не отражают в полной мере состояние грунта.

Для сопоставления состояния разных грунтов был предложен показатель относительной влажности грунта, определенный по формуле

$$W_0 = \frac{W_{np}}{W_T}, \quad (1)$$

где W_{np} – природная влажность грунта, %; W_T – влажность грунта на границе текучести, %.

На глубине опробования 1-2 м расположена активная зона земляного полотна, где практически затухают нормальные и касательные напряжения от автомобильной нагрузки. Поэтому исследовались грунты ниже этой зоны, взятые с глубины 1-3 м.

Статистическая проверка гипотезы о нормальном распределении влажности грунтов была проведена в процессе обработки экспериментальных данных.

На примере распределения влажности глинистого грунта в Новоторъяльском районе РМЭ проверили гипотезы о нормальном распределении влажности грунта. Проведены измерения природной влажности глинистого грунта и влажности на границе текучести по автодорогам, проходящим по пашне, на глубине опробования 1 м. Получили простой статистический ряд. Расположили этот ряд в возрастающем порядке, каждому члену ряда присвоили порядковый номер.

По результатам обработки экспериментальных данных для каждого значения влажности определили эмпирическую вероятность превышения по формуле

$$P_i = \frac{m}{(n+1)}, \quad (2)$$

где m – порядковый номер значения случайной величины в ранжированном по возрастанию статистическом ряду; n – количество экспериментальных данных.

Для статистического ряда нашли оценку математического ожидания относительной влажности W_0 и среднего квадратичного отклонения σ . Коэффициент вариации глинистых грунтов определили по формуле

$$C_v = \frac{\sigma}{W_0}. \quad (3)$$

Результаты статистической обработки на пашне при глубине опробования 1 м свели в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты статистической обработки на пашне при глубине опробования 1 м

№	Относительная влажность W_{np} / W_T	Вероятность превышения $(N/n + 1)$	Вероятность превышения $(N/n + 1) \cdot 100, \%$
	2	3	4
1	0,84	0,125	12,50
2	0,83	0,250	25,00
3	0,7	0,375	37,50
4	0,67	0,500	50,00
5	0,59	0,625	62,50
6	0,57	0,750	75,00
7	0,48	0,875	87,50

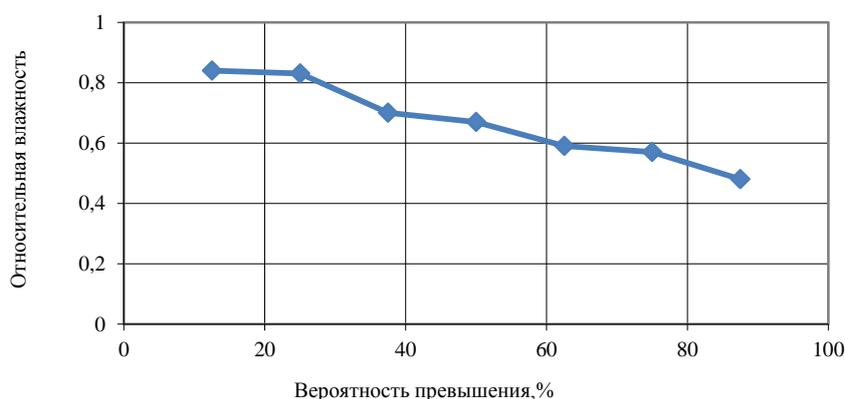
Значение коэффициента вариации приведено в таблице 3.

Таблица 3

Коэффициент вариации

Среднее W_0	0,67	Статистическая оценка математического ожидания
σ – ср. кв. откл	0,134	Оценка среднего квадратического отклонения
$Cv = 0,134/0,67$	0,20	Коэффициент вариации

Для этого ряда построили статистическую функцию распределения, представленную на рисунке 1.



**Кривая обеспеченности влажности
на пашне при глубине опробования 1 м**

Определение расчетной влажности грунта при фактическом значении коэффициента вариации. Величину расчетной влажности установили с учетом уровня проектной надежности по известной формуле

$$W_p = (W_{таб} + \Delta + \Delta_1 W - \Delta_2 W) \cdot (1 + t \cdot Cv) - \Delta_3. \quad (2)$$

Расчетная влажность рассчитывалась:

- для автодорог I категории (автомагистралей I-A, скоростных дорог I-Б, общего положения I-В) – усовершенствованных покрытий капитального типа при коэффициенте нормированного отклонения $t = 2,19$ для уровня надежности $K_n = 0,98$;
- для автодорог II категории – усовершенствованных покрытий капитального типа при коэффициенте нормированного отклонения $t = 1,71$ для уровня надежности $K_n = 0,95$; при $t = 2,19$ для уровня надежности $K_n = 0,98$;
- для автодорог III категории – усовершенствованных покрытий капитального типа при коэффициенте нормированного отклонения $t = 1,32$ для уровня надежности $K_n = 0,90$; при $t = 1,71$ для уровня надежности $K_n = 0,95$;
- для автодорог IV категории – усовершенствованных покрытий капитального типа при коэффициенте нормированного отклонения $t = 1,06$ для уровня надежности $K_n = 0,85$; при $t = 1,32$ для уровня надежности $K_n = 0,90$.

Результаты расчетов сведены в таблице 5. В расчетах поправки $\Delta_1 W, \Delta_2 W, \Delta, \Delta_3$ приняты равными нулю. $W_{табл} = 0,62 W_T$.

Дорожно-климатическая зона – II, подзона II₂.

Для расчетов принята I схема увлажнения рабочего слоя для грунтов легких и тяжелых суглинков.

Таблица 4

Расчетная влажность глинистых грунтов в Новоторьяльском районе

Категория дорог	t	Расчетная влажность, доля от W_T на пашне			
		для усовершенствованных покрытий капитального типа при глубине опробования для I схемы увлажнения рабочего слоя, м			
		1	2	3	норматив
I	2,19	0,89	-	-	0,75
II	1,71	0,83	-	-	0,73
III	1,32	0,78	-	-	0,70
IV	1,06	0,75	-	-	0,68

Анализ глинистого грунта (суглинки легкие, тяжелые) в Новоторьяльском районе РМЭ показывает, что его расчетная влажность выше нормативной на $(0,07-0,14)W_T$, т.е. 1,03-1,19 раза, оптимальная влажность $0,65 W_T$ – на $(0,10-0,24)W_T$, т.е. 1,18-1,37 раза, для дорог I категории (табл. 4).

Изменение физико-механических характеристик грунта при фактическом значении коэффициента вариации. По полученным данным расчетной влажности грунта для разных категорий автомобильных дорог провели исследования изменения расчетных характеристик связных глинистых грунтов для дорожно-климатической зоны II₂ в условиях Новоторьяльского района РМЭ.

Соответствующие значения модуля упругости грунта, сдвиговых характеристик: угла внутреннего трения $\varphi_{гр}$ и удельного сцепления грунта $c_{гр}$ в зависимости от расчетной влажности и количества приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды приняты по таблице А.6 [1]. В расчетах количество приложений нагрузки для автодорог I, II категорий принято $N = 10^6$, III категории – 10^5 , IV категории – 10^4 .

Значения характеристик грунта в зависимости от фактической расчетной влажности приведены в таблице 5.

Таблица 5

Расчетные значения модулей упругости $E_{гр}$ связных грунтов в Новоторьяльском районе

Категория дорог	t	Расчетная влажность, в долях от W_T на пашне	Модуль упругости грунта, МПа, на пашне	Удельное сцепление $c_{гр}$, МПа, на пашне	Угол внутреннего трения $\varphi_{гр}$, град., на пашне
I	2,19	0,89	24	0,001	2
II	1,71	0,83	29	0,0015	2,3
III	1,32	0,78	32	0,004	4
IV	1,06	0,75	34	0,006	7,5

Выводы

1. В результате изучения грунта в естественных условиях путем геологических изысканий, проведенных при проектировании дорог в Новоторьяльском районе Рес-

публики Марий Эл, были определены региональные показатели состояния глинистых грунтов, такие как коэффициент вариации, средняя и расчетные влажности.

2. Грунты на пашне представлены глинами и суглинками. Консистенция грунтов меняется от твёрдой до текучей.

3. Анализ глинистого грунта (суглинки легкие, тяжелые) в Новоторъяльском районе РМЭ показывает, что его расчетная влажность выше нормативной на $(0,07-0,14)W_T$, т.е. 1,03-1,19 раза, оптимальная влажность $0,65 W_T$ – на $(0,10-0,24)W_T$, т.е. 1,18-1,37 раза, для дорог I категорий.

4. Коэффициент вариации влажности глинистых грунтов на пашне составляет 2,0.

5. Анализ значений модулей упругости связных грунтов на пашне в Новоторъяльском районе РМЭ показывает, что они ниже нормативного значения для глинистых грунтов (суглинки легкие, тяжелые) на 10 МПа для дорог I и II категорий и на 9 МПа для дорог III и IV категорий.

6. Анализ значений удельного сцепления $C_{гр}$ связных грунтов в Новоторъяльском районе РМЭ показывает, что они ниже нормативного значения для глинистых грунтов (суглинки легкие, тяжелые) на 0,003 МПа для дорог I, II категорий и на 0,005 МПа для дорог III и IV категорий.

7. Анализ значений угла внутреннего трения $\varphi_{гр}$ связных грунтов в Новоторъяльском районе показывает, что они ниже нормативного значения для глинистых грунтов (суглинки легкие, тяжелые) на 2 градуса для дорог I, II категорий, на 1,5 градуса для дорог III категории и на 2,5 градуса для дорог IV категории.

8. Статистическая обработка экспериментальных данных влажности грунтов подтвердила принятую гипотезу об их нормальном распределении.

9. Несущая способность верхнего слоя грунта земляного полотна снижается, увеличиваются сдвиговые деформации. Это обстоятельство предполагает проведение мероприятий по осушению верхней части земляного полотна и снижение фактической влажности до оптимальной в пределах $(0,45-0,65) W_T$.

Литература

ПНСТ 265. Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование нежестких дорожных одежд. – Введен в действие 15.05.2018. – Москва: Стандартинформ, 2018.

SURVEYS IN THE NOVOTORYALSKY DISTRICT OF THE REPUBLIC OF MARI EL FOR THE DESIGN OF ROAD SURFACES

Weinstein Viktor Meilekhovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The problem of the state of clay soils based on the materials of geological surveys to determine the change in the average soil moisture at the depth of testing in natural conditions, the specification of the coefficient of variation of humidity based on the results of experimental data is presented.

Keywords: *calculated soil moistur; coefficient of variation of soil moisture.*

УДК 628.142

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ КОЛЬЦЕВЫХ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Поздеев Анатолий Геннадиевич, Кузнецова Юлия Анатольевна

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

На основе нормативной скорости потока в водопроводе и заданного диаметра условного прохода установлены расходы по отдельным участкам кольцевой водопроводной сети. Из шести расчетных участков один является общим для двух смежных колец. Участковые расходы корректируются с помощью «узвязочных» расходов. Численный расчет параметров кольцевой сети выполнен в прикладной среде MathCad. Составлена таблица расчетных параметров кольцевой сети в первом приближении. Потокораспределение и баланс кольцевых потерь напора рассчитаны в автоматизированном режиме на основе законов Кирхгофа.

Ключевые слова: водопровод; кольцевая сеть; расход; условный проход; уравнения Кирхгофа; невязка; потокораспределение; баланс кольцевых потерь напора MathCad.

Введение. Гидравлический расчет кольцевой сети производится в следующем порядке [1].

Сначала определяются путевые расходы на всех участках сети и приводятся к узловым расходам. Далее по принятым расходам линий назначаются диаметры труб. При заданных диаметрах труб намечаются предварительные распределения узловых расходов между участками. Затем определяются гидравлические потери по первому кольцу для трех его участков и по второму кольцу для четырех участков. При этом участок 3-4 является общим для обоих колец (рис. 1). На основании вычисленных потерь напора по участкам находится невязка напоров по каждому кольцу. В результате составляется таблица расчетных параметров кольцевой сети в первом приближении.

В заключение рассчитывается потокораспределение и баланс кольцевых потерь напора в автоматизированном режиме на основе законов Кирхгофа.

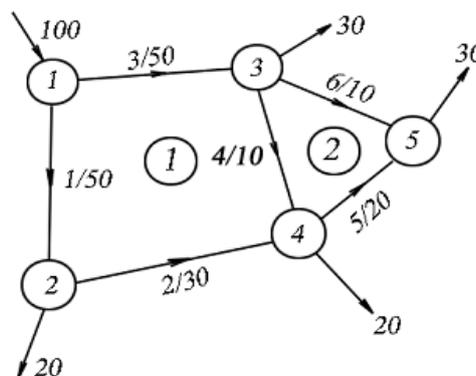


Рис. 1. Расчетная схема водопроводной сети

Цель работы состоит в создании автоматизированной модели расчета кольцевой водопроводной сети на основе уравнений Кирхгофа в прикладной среде MathCad [3].

Решаемые задачи: 1) автоматизация модели расчета гидравлических характеристик кольцевой водопроводной сети; 2) составление таблицы расчетных параметров кольцевой сети в первом приближении в прикладной среде MathCad; 3) автоматизированное решение системы уравнений Кирхгофа для расчета вариантов потокораспределения сети.

Математическое моделирование. Расход воды, притекающей к любому узлу сети, должен быть равен расходу воды, отходящей от этого узла, что составляет условие баланса расходов

$$\sum_{r \in k_j} q_{rj} - Q_j = 0, \quad (1)$$

где j – номер узла; Q_j – вытекающий из узла расход; q_{rj} – расходы по примыкающим к узлу j участкам; r – узел, имеющий общий с узлом j участок; k_j – множество узлов, имеющих общий с узлом j участок.

В условии (1) число неизвестных участковых расходов равно числу участков t , а число таких уравнений равно числу узлов n без одного. Недостающие $t - n + 1$ уравнений ($m = t - n + 1$ – число колец) имеют вид

$$\sum_{rb \in E_k} h_{rb} = \sum (sign \ q_{rb}) s_{rb} q_{rb}^2 = 0, \quad (2)$$

где E_k – множество участков rb , образующих k -е кольцо; $sign \ q_{rb}$ – (+1) или (–1) в зависимости от того, совпадает направление расхода q_{rb} с направлением обхода кольца или нет; s_{rb} – сопротивление участка.

Уравнения (1) и (2) представляют собой систему уравнений Кирхгофа.

Участковые расходы корректируются с помощью «увязочных» расходов

$$\Delta q_k = - \frac{\Delta h_k}{2 \sum_{rb \in E_k} s_{rb} |q_{rb}|}, \quad (3)$$

где Δh_k – левая часть уравнения (2).

Новые значения участковых расходов

$$q_{rb}^{(i+1)} = q_{rb}^{(i)} + \Delta q_k - \Delta q_j, \quad (4)$$

где Δq_k и Δq_j – увязочные расходы смежных колец, границей между которыми является участок rb ; знак q_{rb} назначается при обходе k -го кольца.

Численный расчет гидравлических параметров двухкольцевой водопроводной сети, выполненный на основе схемы сети (рис. 1) в прикладной среде MathCad, приведен ниже.

Интерпретация результатов. Расчет кольцевой сети начинается с определения гидравлических потерь по первому кольцу для трех его участков [2, 4].

Участок 1-2 (1)

Нормативная скорость на участках, м/с, $v_n := 1.018$.

Диаметр условного прохода на участке 1-2, м, $d_{1-2} := 250$.

Площадь условного прохода на участке 1-2, м², $f_{1-2} := \frac{\pi \cdot (10^{-3} \cdot d_{1-2})^2}{4}$; $f_{1-2} = 0.049$.

Транзитный расход по участку 1-2, м³/с, $q_{1-2} := -v_n \cdot f_{1-2}$; $q_{1-2} = -0.05$.

Транзитный расход по участку 1-2, дм³/с, $q_{1-2} := q_{1-2} \cdot 10^3$; $q_{1-2} = -49.97$.

Длина участка 1-2, м, $L_{1-2} := 500$.

Удельное сопротивление на участке 1-2, с/дм³, $A_{1-2} := 2.75 \times 10^{-6}$.

Сопротивление участка 1-2, с/м, $s_{1-2} := A_{1-2} \cdot L_{1-2}$; $s_{1-2} = 1.375 \times 10^{-3}$.

Произведение сопротивления участка 1-2 на модуль расхода по нему, м·с/дм³, $s_{1-2} \cdot |q_{1-2}| = 0.069$

Потери напора на участке 1-2, м, $h_{1-2} := s_{1-2} \cdot |q_{1-2}| \cdot q_{1-2}$; $h_{1-2} = -3.434$.

Аналогичным образом вычисляются гидравлические параметры участков 1-3 (3), 3-4 (4), 2-4 (2) кольца 1.

Участок 3-4 (2) является общим для первого и второго колец.

На основании вычисленных потерь напора по участкам 1-3 (3), 3-4 (4), 2-4 (2) находится невязка напоров по кольцу 1, м, $\Delta h_2 := h_{1-2} + h_{1-3} + h_{3-4} + h_{2-4}$; $\Delta h_2 = -3.256$.

Сумма произведений сопротивлений участков кольца 1 на модуль расхода по нему, м·с/дм³, $\Sigma s q_1 := s_{1-2} \cdot |q_{1-2}| + s_{1-3} \cdot |q_{1-3}| + s_{3-4} \cdot |q_{3-4}| + s_{2-4} \cdot |q_{2-4}|$; $\Sigma s q_1 = 0.461$.

Невязка расходов по кольцу 1, дм³/с, $\Delta q_1 := \frac{\Delta h_1}{2 \cdot \Sigma s q_1}$; $\Delta q_1 = -3.534$.

Расчет по второму кольцу начинается с участка 3-5 (6).

Диаметр условного прохода на участке 3-5, мм, $d_{3-5} := 150$.

Площадь условного прохода на участке 3-5, м², $f_{3-5} := \frac{\pi \cdot (10^{-3} \cdot d_{3-5})^2}{4}$; $f_{3-5} = 0.018$.

Транзитный расход по участку 3-5, м³/с, $q_{3-5} := -v_n \cdot f_{3-5}$; $q_{3-5} = 0.018$.

Транзитный расход по участку 3-5, дм³/с, $q_{3-5} := q_{3-5} \cdot 10^3$; $q_{3-5} = 17.99$.

Длина участка 3-5, м, $L_{3-5} := 600$.

Удельное сопротивление на участке 3-5, с/дм³, $A_{3-5} := 41.9 \times 10^{-6}$.

Сопротивление участка 3-5, м·с/м, $s_{3-5} := A_{3-5} \cdot L_{3-5}$; $s_{3-5} = 0.025$.

Произведение сопротивления участка 3-5 на модуль расхода по нему, м·с/дм³, $s_{3-5} \cdot |q_{3-5}| = 0.251$.

Потери напора на участке 3-5, м, $h_{3_5} := s_{3_5} \cdot |q_{3_5}| \cdot q_{3_5}$; $h_{3_5} = 2.514$.

Аналогичным образом вычисляются гидравлические параметры участков 4-5 (5), 3-4 (4) кольца 2.

Участок 3-4 (2) является общим для первого и второго колец.

На основании вычисленных потерь напора по участкам 3-4, 4-5, 3-4, 2-4 находится невязка напоров по кольцу 1, м, $\Delta h_2 := h_{3_5} + h_{4_5} + h_{3_4}$; $\Delta h_2 = -1.712$.

Сумма произведений сопротивлений участков кольца 2 на модуль расхода по нему, м·с/дм³, $\Sigma s q_1 := s_{3_5} \cdot |q_{3_5}| + s_{4_5} \cdot |q_{4_5}| + s_{3_4} \cdot |q_{3_4}|$; $\Sigma s q_2 = 0.557$.

Невязка расходов по кольцу 2, дм³/с, $\Delta q_2 := \frac{\Delta h_2}{2 \cdot \Sigma s q_2}$; $\Delta q_1 = -1.536$.

Составление таблицы расчета кольцевой сети (первое приближение)

Длины участков, м, $L := (L_{1_2} \quad L_{1_3} \quad L_{3_4} \quad L_{2_4} \quad L_{3_5} \quad L_{4_5} \quad L_{3_4})^T$;

$L := (500 \quad 400 \quad 450 \quad 550 \quad 600 \quad 650 \quad 450)^T$.

Диаметры участков, м, $d := (d_{1_2} \quad d_{1_3} \quad d_{3_4} \quad d_{2_4} \quad d_{3_5} \quad d_{4_5} \quad d_{3_4})^T$;

$d := (250 \quad 250 \quad 150 \quad 200 \quad 150 \quad 200 \quad 150)^T$.

Удельные сопротивления участков, с/дм³ [5],

$A := (A_{1_2} \quad A_{1_3} \quad A_{3_4} \quad A_{2_4} \quad A_{3_5} \quad A_{4_5} \quad A_{3_4})^T$;

$A := (2.75 \cdot 10^{-6} \quad 2.75 \cdot 10^{-6} \quad 4.19 \cdot 10^{-5} \quad 9 \cdot 10^{-6} \quad 4.19 \cdot 10^{-5} \quad 9 \cdot 10^{-6} \quad 4.19 \cdot 10^{-5})^T$.

Сопротивления участков, м·с/м,

$s := (s_{1_2} \quad s_{1_3} \quad s_{3_4} \quad s_{2_4} \quad s_{3_5} \quad s_{4_5} \quad s_{3_4})^T$;

$s^T := (1.375 \cdot 10^{-3} \quad 1.1 \cdot 10^{-3} \quad 0.019 \quad 4.95 \cdot 10^{-3} \quad 0.025 \quad 5.85 \cdot 10^{-3} \quad 0.019)^T$.

Транзитные расходы по участкам, м³/с,

$q := (q_{1_2} \quad q_{1_3} \quad q_{3_4} \quad q_{2_4} \quad q_{3_5} \quad q_{4_5} \quad q_{3_4})^T$;

$s^T := (-49.971 \quad 49.971 \quad -10 \quad -30 \quad 10 \quad -20 \quad -10)^T$.

Произведения сопротивлений участков на модули расхода по ним, м·с/дм³,

$s q := (q_{1_2} \cdot |q_{1_2}| \quad q_{1_3} \cdot |q_{1_3}| \quad q_{3_4} \cdot |q_{3_4}| \quad q_{2_4} \cdot |q_{2_4}| \quad q_{3_5} \cdot |q_{3_5}| \quad q_{4_5} \cdot |q_{4_5}| \quad q_{3_4} \cdot |q_{3_4}|)^T$;

$s q^T := (0.069 \quad 0.055 \quad 0.189 \quad 0.149 \quad 0.251 \quad 0.117 \quad 0.189)^T$.

Потери напора по участкам, м,

$h := (h_{1_2} \quad h_{1_3} \quad h_{3_4} \quad h_{2_4} \quad h_{3_5} \quad h_{4_5} \quad h_{3_4})^T$;

$h^T := (-3.434 \quad 2.747 \quad -1.885 \quad -4.455 \quad 2.514 \quad -2.34 \quad -1.536)^T$.

Невязка расходов по кольцам, дм³/с,

$\Delta q := (\Delta q_1 \quad \Delta q_1 \quad \Delta q_1 \quad \Delta q_1 \quad \Delta q_2 \quad \Delta q_2 \quad \Delta q_2)^T$;

$\Delta q^T := (-3.534 \quad -3.534 \quad -3.5345 \quad -3.534 \quad -1.536 \quad -1.536 \quad -1.536)^T$.

Невязка расходов по смежным участкам, дм³/с,

$\Delta q_c := (\Delta q_2 \quad \Delta q_2 \quad \Delta q_2 \quad \Delta q_2 \quad \Delta q_1 \quad \Delta q_1 \quad \Delta q_1)^T$;

$$\Delta q_c^T := (-1.536 \quad -1.536 \quad -1.536 \quad -1.536 \quad -3.534 \quad -3.534 \quad -3.534)^T.$$

Результаты расчета кольцевой сети (первое приближение)

Номера участков	Длина	Диаметр	Удельное сопротивление	Сопротивление	Первое приближение						
	l	d			A	s	$q^{(1)}$	$s q $	h	Δq_k	Δq_j
	м	м			с/дм ²	м ² /дм ²	дм ² /с	м·с/дм ²	м	дм ² /с	дм ² /с
1-2	500	250	$2.75 \cdot 10^{-6}$	$1.375 \cdot 10^{-3}$	-49.971	0.069	-3.434	-3.534	-1.536		
1-3	400	250	$2.75 \cdot 10^{-6}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$	49.971	0.055	2.747	-3.534	-1.536		
3-4	450	150	$4.19 \cdot 10^{-5}$	0.019	-10	0.189	-1.885	-3.534	-1.536		
2-4	550	200	$9 \cdot 10^{-6}$	$4.95 \cdot 10^{-3}$	-30	0.149	-4.455	-3.534	-1.536		
3-5	600	150	$4.19 \cdot 10^{-5}$	0.025	10	0.251	2.514	-1.536	-3.534		
4-5	650	200	$9 \cdot 10^{-6}$	$5.85 \cdot 10^{-3}$	-20	0.117	-2.34	-1.536	-3.534		
3-4	450	150	$4.19 \cdot 10^{-5}$	0.019	-10	0.189	-1.885	-1.536	-3.534		

Потокораспределение на основе законов Кирхгофа

Узловые расходы, дм³/с.

Втекающий в узел 1 расход, дм³/с, $Q_1 = 100$

Вытекающий из узла 2 расход, дм³/с, $Q_2 = -20$

Вытекающий из узла 3 расход, дм³/с, $Q_3 = -30$

Вытекающий из узла 4 расход, дм³/с, $Q_4 = -20$

Вытекающий из узла 5 расход, дм³/с, $Q_5 = -30$

Проверка внешнего баланса расходов, дм³/с, $Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 0$

ORIGIN:=1

Given

Баланс узловых расходов на основе первого закона Кирхгофа

Условие баланса расходов узла 1, дм³/с, $Q_1 - q_{1_2} - q_{1_3} = 0$

Условие баланса расходов узла 2, дм³/с, $Q_2 + q_{1_2} - q_{2_4} = 0$

Условие баланса расходов узла 3, дм³/с, $Q_3 + q_{1_3} - q_{3_4} - q_{3_5} = 0$

Условие баланса расходов узла 4, дм³/с, $Q_4 + q_{2_4} + q_{3_4} - q_{4_5} = 0$

Условие баланса расходов узла 5, дм³/с, $Q_5 + q_{3_5} + q_{4_5} = 0$

Баланс кольцевых потерь напора на основе второго закона Кирхгофа

Алгебраическая сумма потерь напора по первому кольцу, м,

$$\Delta h_1 = -s_{1_2} \cdot q_{1_2}^2 + s_{1_3} \cdot q_{1_3}^2 - s_{2_4} \cdot q_{2_4}^2 + s_{3_4} \cdot q_{3_4}^2.$$

Алгебраическая сумма потерь напора по второму кольцу, м,

$$\Delta h_2 = -s_{3_4} \cdot q_{3_4}^2 + s_{3_5} \cdot q_{3_5}^2 - s_{4_5} \cdot q_{4_5}^2.$$

Варианты потокораспределения:

$$q_{\text{уч}}^T \text{ float,3} \rightarrow \begin{pmatrix} 82.2 & 17.8 & 62.2 & 36.3 & -45.5 & 78.5 \\ 50.0 & 50.0 & 30.0 & 10.0 & 10.0 & 20.0 \\ 75.5 & 24.5 & 55.5 & -31.9 & 26.4 & 3.61 \\ -1746.0 & 1846.0 & -1766.0 & 918.0 & 899.0 & -869.0 \end{pmatrix}$$

Выводы

Разработана модель расчета баланса кольцевых потерь напора в автоматизированном режиме на основе законов Кирхгофа в среде MathCad.

Определены гидравлические потери по первому кольцу для трех его участков и по второму кольцу для четырех участков.

На основании вычисленных потерь напора по участкам колец находится невязка напоров по каждому кольцу.

Составлена таблица расчетных гидравлических параметров кольцевой сети в первом приближении в прикладной среде MathCad.

Произведено автоматизированное решение системы уравнений Кирхгофа для расчета вариантов потокораспределения сети.

Список литературы

1. Абрамов, Н.Н. Расчет водопроводных сетей: учеб. пособие для вузов / Н.Н. Абрамов, М.М. Поспелова, М.А. Сомов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Стройиздат, 1983. – 278 с.
2. Грачев, С. Водоснабжение. Водоотведение. Оборудование и технологии / С. Грачев. – Москва: Стройинформ, 2007. – 464 с.
3. Макаров, Е.Г. Инженерные расчеты в Matchcad: учебный курс / Е.Г. Макаров. – Санкт-Петербург: Питер, 2003. – 448 с.
4. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Взамен СНиП П-31-74; Введ. с 01.01.1985. – Москва: Управление технического нормирования, стандартизации и сертификации в строительстве и ЖКХ Госстроя России, 2003. – 83 с.
5. Шевелев, Ф.А. Таблица для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных водопроводных труб / Ф.А. Шевелев. – 5-е изд., доп. – Москва: Стройиздат, 1973. – 112 с.

AUTOMATED CALCULATION OF WATER SUPPLY RING MAINS

Pozdeev Anatoly Gennadievich, Kuznetsova Yulia Anatolievna

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

Based on a standard flow velocity in a water supply system and a specified nominal pipe diameter, a flow rate in individual sections of a water supply ring main are determined. Of the six sections, one is common to two adjacent rings. The flow rate in the sections is adjusted using calculated deviations. The numerical calculation of parameters of the ring main is performed in MathCad. A table of calculated parameters of the ring main in the first approximation is compiled. The flow distribution and the balance of pressure losses are calculated based on Kirchhoff laws in an automated mode.

Keywords: *water supply system; ring main; flow rate; nominal pipe diameter; Kirchhoff equations; deviation; flow distribution; balance of pressure losses; MathCad.*

УДК 627.8.06

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАПЛАВНЫХ СООРУЖЕНИЙ ЗАПАНИ НА КАНАТНЫХ ОПОРАХ

Поздеев Анатолий Геннадиевич, Кузнецова Юлия Анатольевна

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

Рассмотрены средства удержания наплавных сооружений запани для защиты речных гидроузлов от плавающих загрязнений на основе канатных опор, в состав которых входят донный якорь-присос, соединительный канат и плавучий сферический буй. В автоматизированном режиме в среде MathCad вычислены характеристики буя, обеспечивающие его плавучесть при воздействии силы удержания защитного наплавного сооружения. На основе теории гибкой нити определены горизонтальное перемещение плавучего буя под действием влекущей силы потока и длина соединительного каната относительно донного якоря-присоса. Вычислено держащее усилие якоря-присоса.

Ключевые слова: наплавные сооружения; запань; гидроузел; канатные опоры; канат; сферический буй; якорь-присос; MathCad.

Введение. Функционирование наплавных сооружений, предназначенных для защиты агрегатов речных гидроузлов от плавающих загрязнений, связано с установкой направляющих боновых ограждений и плавучих элементов (плиток) защитной запани (рис. 1).

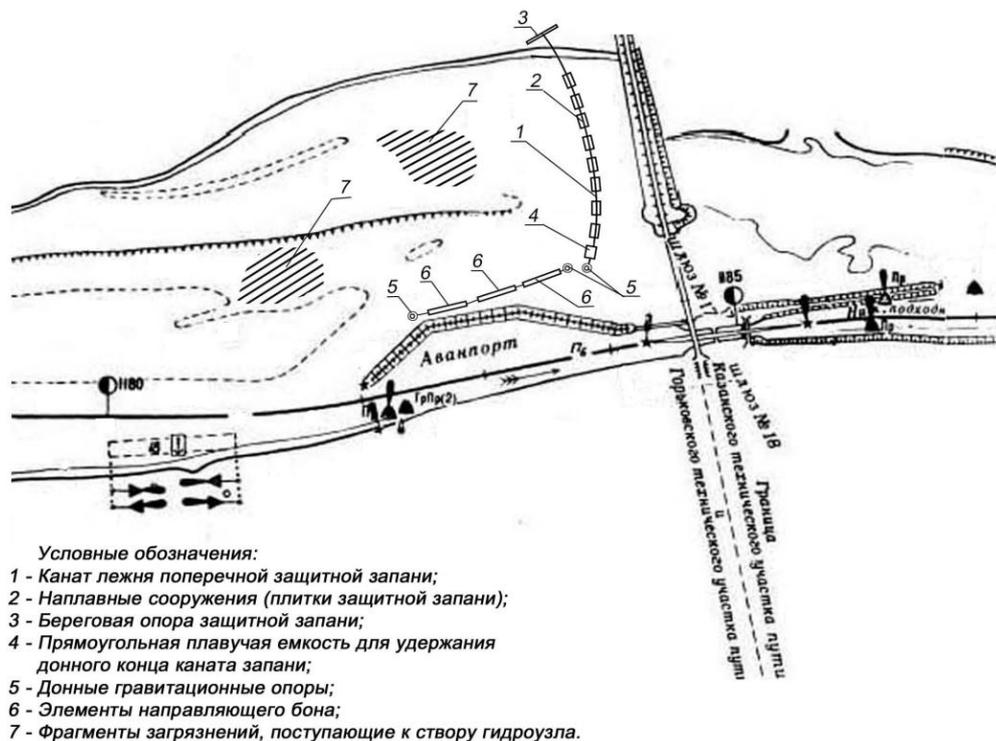


Рис. 1. Схема размещения защитных сооружений в верхнем бьефе гидроузла

Наиболее ответственными элементами, обеспечивающими надежную и устойчивую работу системы защиты гидроузлов от воздействия загрязнений, поступающих в верхний бьеф, являются береговые и донные опоры [1]. Специфика донных опор состоит в том, что для удержания бонов и запаней на поверхности акватории должны обеспечиваться условия непотопляемости узлов их присоединения к донным опорам. С этой целью устанавливаются плавучие емкости – буи, которые рассчитываются на вертикальную предельную погружающую силу, возникающую при действии на защитные наплавные сооружения влекущей силы потока, скопления загрязнений и ветровой нагрузки [2].

В состав канатной опоры (рис. 2) входят: плавучий буй 1, соединительный канат 2, донный якорь-присос 3 [6].

При возникновении суммарной влекущей горизонтальной силы R_{η} от совместного действия потока, загрязнений и ветра буй 1 натягивает канат, удерживаемый нижним концом за донный якорь, вызывая возникновение погружающей силы, направленной вниз [3]. Совместное действие указанной силы и силы тяжести mg компенсируется выталкивающей архимедовой силой G . Следовательно, для устойчивой работы канатной опоры необходимо обеспечить условие превышения выталкивающей подъемной силы над погружающими. В связи с этим в расчете рассматриваются условия предельного силового равновесия буя относительно свободной поверхности.

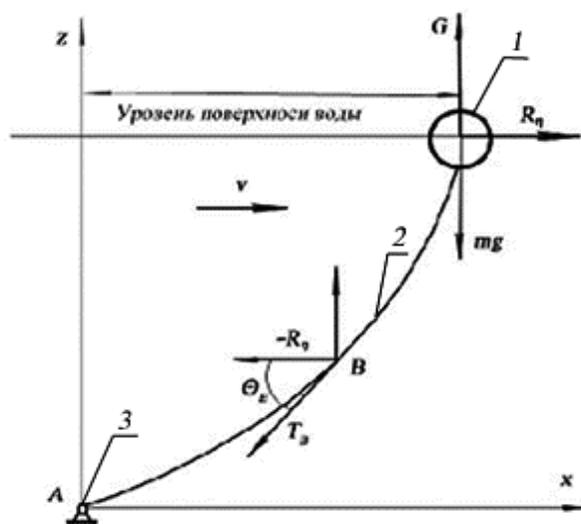


Рис. 2. Составляющие силового воздействия потока на канатную опору:

R_{η} – суммарная влекущая горизонтальная сила; mg – сила тяжести;

G – выталкивающая сила; T_B – сила натяжения каната в точке B

Цель работы состоит в создании автоматизированной модели расчета канатной опоры, включающей плавучий буй, соединительный канат и донный якорь-присос.

Решаемые задачи: 1) автоматизация модели расчета характеристик канатной опоры; 2) определение численных значений усилий, действующих на канатные опоры наплавных сооружений защитной запани верхнего бьефа гидроузла, в прикладной среде MathCad [4].

Математическое моделирование. В процессе расчета прежде всего определяются параметры воздуха и воды в функции температуры на основе сплайн-интерполяции табличных данных.

Сплайн-интерполяция плотности воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$, от температуры, К.

Табличные значения температуры, К,

$$T_{\text{таб}} := (200 \ 250 \ 300 \ 350 \ 400 \ 450 \ 500 \ 550 \ 600 \ 650)^T.$$

Табличные значения плотности воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$,

$$\rho_{\text{таб}} := (1.768 \ 1.413 \ 1.177 \ 0.998 \ 0.883 \ 0.783 \ 0.705 \ 0.642 \ 0.588 \ 0.543)^T.$$

Вектор значений плотности воздуха $v_\rho := \text{pspline}(T_{\text{таб}}, \rho_{\text{таб}})$.

Интерпретация зависимости плотности воздуха от температуры

$$\rho_e(T) := \text{interp}(v_\rho, T_{\text{таб}}, \rho_{\text{таб}}, T).$$

Текущая температура воздуха, $^\circ\text{C}$, $t := 12$.

Текущая температура воздуха, К, $T := t + 273,15$; $T = 285,15$.

Текущая плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$, $\rho_e(T) = 1,239$.

Регрессионная зависимость плотности воды ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$, от температуры, К.

Плотность воды в функции температуры, $\text{кг}/\text{м}^3$,

$$\rho(T) := (1000 - 0,062 \cdot T - 0,00355 \cdot T^2).$$

Ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$, $g := 9,81$.

Радиус сферы, м, $R_{\text{сф}} := 1$.

Толщина материала сферы, м, $\delta_{\text{сф}} := 0,003$.

Плотность материала сферы, $\text{кг}/\text{м}^3$, $\rho_{\text{сф}} := 7800$.

Площадь поверхности сферы, м^2 , $S_{\text{сф}} := 4 \cdot \pi \cdot R_{\text{сф}}^2$; $S_{\text{сф}} = 12,6$.

Объем сферы, м^3 , $V_{\text{сф}} := \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R_{\text{сф}}^3$; $V_{\text{сф}} = 4,2$.

Объем материала сферы, м^3 , $V_{\text{мсф}} := \delta_{\text{сф}} \cdot S_{\text{сф}}$; $V_{\text{мсф}} = 0,038$.

Масса сферы, кг, $m_{\text{сф}} := \rho_{\text{сф}} \cdot V_{\text{мсф}}$; $m_{\text{сф}} = 294$.

Вес сферы, кН, $G_{\text{сфкГ}} := \frac{g \cdot m_{\text{сф}}}{9,81}$; $G_{\text{сфкГ}} = 294$.

Вес сферы, кГ, $G_{\text{сф}} := \frac{g \cdot m_{\text{сф}}}{1000}$; $G_{\text{сф}} = 2,885$.

Масса воздуха в объеме сферы, кг, $m_e := \rho_e(T) \cdot V_{\text{сф}}$; $m_e = 5,192$.

Вес воздуха в объеме сферы, кН, $G_e := \frac{g \cdot m_e}{1000}$; $G_e = 0,051$.

Вес воздуха в объеме сферы, кГ, $G_{\text{вкГ}} := \frac{g \cdot m_e}{9,81}$; $G_{\text{вкГ}} = 5,192$.

Масса воды, вытесненная сферой, кг, $m := \rho(t_{\text{вод}}) \cdot V_{\text{сф}}$; $m = 4,186 \times 10^3$.

Вес воды, вытесненной сферой, кН, $G := \frac{g \cdot m}{1000}$; $G = 41.062$.

Вес воды, вытесненной сферой, кГ, $G_{кГ} := \frac{g \cdot m}{9.81}$; $G_{кГ} = 4.186 \times 10^3$.

Архимедова сила, кН, $G_A := G - G_g$; $G_A = 41.011$.

Архимедова сила, кГ, $G_{Акк} := G_{кГ} - G_{гкГ}$; $G_{Акк} = 4.181 \times 10^3$.

Площадь поперечного сечения (миделево сечение) шарового тела, м², $S_m := \pi \cdot R_{сф}^2$;
 $S_m = 3.142$.

Динамическая вязкость воды, Па·с, $\mu_0(t_{вод}) := 0.59849 \cdot (43.252 + t_{вод})^{-1.5423}$;
 $\mu_0(t_{вод}) = 1.381 \times 10^{-3}$.

Кинематическая вязкость воды, м²/с, $\nu(t_{вод}) := \frac{\mu_0(t_{вод})}{\rho(t_{вод})}$; $\nu(t_{вод}) = 1.382 \times 10^{-6}$.

Объемный вес воды, Н/м³, $\gamma := \rho(t_{вод}) \cdot g$; $\gamma = 9.803 \times 10^3$.

Плотность частиц грунта, кг/м³, $\rho_u = 3.16 \times 10^3$.

Расчетный объемный вес частиц, Н·м³, $\gamma_u := \rho_u \cdot g$; $\gamma_u = 3.1 \times 10^4$.

Средний диаметр наиболее крупных фракций, м, $d_k := 1.7 \cdot 10^4$.

Гидравлическая крупность частиц грунта, м/с, $u_z := \frac{1}{18} \cdot \frac{\rho_u - \rho(t_{вод})}{\rho(t_{вод})} \cdot \frac{g \cdot d_k^2}{\nu(t_{вод})}$;
 $u_z = 0.025$.

Удельный расход через водосливную плотину, м²/с, $q := 43$.

Скорость на входе в воронку размыва, м/с, $u_{вх} := 5.77$.

Сила лобового сопротивления шара в воде по формуле А.Н. Крылова, кН,
 $R_\eta := 19.8 \cdot 10^{-3} \cdot u_{вх}^2 \cdot s_m$; $R_\eta = 2.07$.

Натяжение каната, кН, $T_g := \sqrt{R_\eta^2 + G_A^2}$; $T_g = 41.06$.

Тангенс угла примыкания каната в верхней точке, $\text{tg} \theta_g := \frac{G_A}{T_g}$; $\text{tg} \theta_g = 0.999$.

Угол примыкания каната в верхней точке, рад, $\theta_g := \text{atan} \left(\frac{G_A}{T_g} \right)$; $\theta_g = 0.785$.

Угол примыкания каната в верхней точке, °, $\theta_g := \frac{180}{\pi} \cdot \text{atan} \left(\frac{G_A}{T_g} \right)$; $\theta_g = 45$.

Диаметр каната, м, $d := 10 \cdot 10^{-3}$.

Коэффициент гидравлического сопротивления каната $C := 1.1$.

Модуль удельной силы давления потока, кН/м, $\lambda := 10^{-3} \cdot C \cdot \rho(t_{вод}) \cdot \frac{u_{вх}^2}{2} \cdot d$; $\lambda = 0.183$.

Параметр гибкой нити, 1/м, $k := \frac{\lambda}{T_g}$; $k = 4.454 \times 10^{-3}$.

Скорость течения в нижнем бьефе, м/с, $v_n := 0.83$.

Глубина потока в верхнем бьефе, м, $H_{\text{вб}} := \frac{q}{v_n}$.

Постоянная интегрирования уравнения равновесия участка каната, 1/м,

$$C_1 := \ln\left(\tan\left(\frac{\theta_g}{2}\right)\right) - k \cdot H_{\text{вб}}; C_1 = -0.858.$$

Горизонтальное расстояние сноса плавучей сферы относительно донной опоры, м,

$$l_2 := \frac{1}{k} \cdot (\cosh(C_1) - \cosh(k \cdot H_{\text{вб}} + C_1)); l_2 = 42.18.$$

Длина растянутого каната, м, $L := \frac{1}{k} \cdot (\sinh(k \cdot H_{\text{вб}} + C_1) - \sinh(C_1)); L = 66.9$.

Приведем расчет держащей силы якоря-присоса.

Расчетное горизонтальное усилие, Н, $T_z = 10^5$.

Удельная держащая сила якоря (для песчаного грунта $k_y = 5...7$ кН), $k_y := 6$.

Масса якоря-присоса в воде, кг, $Q_y := \frac{T_z}{k_y}$; $Q_y = 1.667 \times 10^4$.

Длина стороны основания якоря, м, $B := 1$.

Коэффициент присоса (для песков и илов $k_n = 0.15...0.2$), $k_n := 0.15$.

Плотность частиц грунта, кг/м³, $\rho_{\text{ч}} := 3.16 \cdot 10^3$.

Коэффициент пассивного давления грунта, $\lambda := 0.2$.

Сила сцепления грунта, Н, $C_c := 12 \cdot 10^3$.

Угол наклона бриделя к горизонту, °, $\alpha_{\text{б}} := 30 \cdot \frac{\pi}{180}$.

Высота якоря, м, $h_y := 1$.

Высота замка, м, $p := 0.1$.

Коэффициент повышения отпора грунта за счет расширения призмы выпора в стороны $n := 1.1$.

Удерживающая сила якоря-присоса, кН,

$$T_y := \frac{0.5 \cdot Q_y \cdot (1 + k_y) + \frac{1}{3} \cdot h^3 \cdot \rho_{\text{ч}} \cdot \lambda \cdot n + h^2 \cdot n \cdot C_c \cdot (1 + \lambda)}{h_y \cdot \cos\left(\frac{\pi}{180} \cdot \alpha_{\text{б}}\right) + 0.5 \cdot B \cdot \sin\left(\frac{\pi}{180} \cdot \alpha_{\text{б}}\right)} \cdot 10^{-3}; T_y = 58.228.$$

Выводы

С помощью сплайн-интерполяции табличных данных установлена регрессионная зависимость плотности воздуха от температуры.

На основе геометрических и физических соображений определены объем и масса плавучей сферы и вычислена архимедова сила.

При заданной скорости потока на входе в воронку размыва вычислена сила лобового сопротивления шарового тела, находящегося в воде по формуле А.Н. Крылова [5].

Установлены натяжение каната, угол примыкания каната в верхней точке, диаметр каната и коэффициент гидравлического сопротивления каната [7].

В результате применения зависимости для вычисления гидравлического сопротивления определен модуль удельной силы давления потока. На этой основе найдена длина растянутого каната.

Затем произведен расчет держащей силы якоря-присоса и установлены расчетное горизонтальное усилие и удельная держащая сила якоря. Найдены угол наклона бриделя к горизонту и удерживающая сила якоря-присоса.

Список литературы

1. Бреббиа, К. Динамика морских сооружений / К. Бреббиа, С. Уокер. – Ленинград: Судостроение, 1980. – 230 с.
2. Инструкция по изысканиям, проектированию, строительству, монтажу и эксплуатации запаней. – Москва: Лесная промышленность, 1971. – 104 с.
3. Водный транспорт леса: учебник для вузов / А.А. Камусин, Ю.Я. Дмитриев, А.Н. Минаев, М.М. Овчинников. – Москва: МГУЛ, 2000. – 432 с.
4. Кульмач, П.П. Якорные системы удержания плавучих объектов / П.П. Кульмач. – Ленинград: Судостроение, 1980. – 336 с.
5. Макаров, Е.Г. Инженерные расчеты в Matchcad: учебный курс / Е.Г. Макаров. – Санкт-Петербург: Питер, 2003. – 448 с.
6. Меркин, Д.Р. Введение в механику гибкой нити / Д.Р. Меркин. – Москва: Наука, 1980. – 240 с.
7. Совершенствование средств инженерно-экологического обустройства водохранилищ ГЭС / А.Г. Поздеев, И.А. Полянин, Е.М. Царев, Ю.А. Кузнецова // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Человек. – 2011. – № 1. – С. 83-98.
8. Струнаправляющие системы из текстильных материалов для защиты нижних бьефов гидроузлов / С.В. Федосов, А.Г. Поздеев, В.Г. Котлов, Ю.А. Кузнецова // Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 1 (367). – С. 184-189.

AUTOMATED CALCULATION OF FLOATING STRUCTURES OF PROTECTIVE BOOM HELD BY ROPE SYSTEMS

Pozdeev Anatoly Gennadievich, Kuznetsova Yulia Anatolievna

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The paper considers rope systems that hold floating structures of a boom to protect river hydrosystems from flotsam. These rope systems include a bottom suction anchor, a connecting rope and a floating spherical buoy. Characteristics of the buoy that ensure its buoyancy under the retention force of the protective floating structure are calculated in MathCad in an automated mode. Based on the theory of flexible thread, a horizontal movement of the floating buoy under the drag force of the flow and a length of the connecting rope relative to the bottom suction anchor are determined. The holding force of the suction anchor is calculated.

Keywords: *floating structures; protective boom; hydrosystem; rope systems; rope; spherical buoy; suction anchor; MathCad.*

УДК 624.047

АКТУАЛИЗАЦИЯ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО ИСПЫТАНИЮ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Поздеев Виктор Михайлович

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

Выполнен анализ изменений в части назначения контрольных параметров и оценки результатов испытания, отраженных в последней редакции ГОСТ 8829-2018 «Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости». Отмечено, что некоторые положения в новой редакции документа недостаточно обоснованы и требуют дополнительной проверки.

Ключевые слова: испытание железобетонных конструкций нагружением; контрольные параметры; методы оценки результатов испытаний; оценка прочности; жесткости и трещиностойкости.

Введение. В современном строительстве ведущее место занимают конструкции из бетона и железобетона. Значительная часть элементов зданий и сооружений применяется в виде сборных изделий, изготавливаемых на заводах строительных материалов. Физико-механические свойства бетона обладают определенной изменчивостью по сравнению с металлом, так как это многокомпонентный материал, существенно зависящий от соблюдения технологии изготовления. Поэтому практически с начала применения железобетонных конструкций в строительстве интегральной оценкой их качества и пригодности для эксплуатации являются проведенные натурные испытания.

Заводам строительной индустрии, производящим сборные железобетонные конструкции, предписывается периодически проводить контрольные испытания продукции нагружением. Виды испытаний, методика их проведения, назначение контрольных параметров и методика оценки результатов регламентируются государственным стандартом (ГОСТом).

Первая редакция ГОСТ 8829-58 «Детали железобетонные сборные. Методы испытаний и оценки прочности, жесткости и трещиностойкости» [1] вышла в 1958 году. Далее государственный стандарт на испытание железобетонных конструкций периодически переиздавался: в 1966, 1977, 1985 и 1994 годах [2-5]. Документ совершенствовался на основе опыта испытаний, результатов, полученных при испытаниях различных конструкций. Редакция 1994 года действовала более 20 лет. Новая актуальная редакция документа разработана и введена в действие в 2019 году [6].

Цель работы – выполнить анализ изменившихся положений документа в части назначения контрольных параметров и оценки результатов испытания.

Анализ введенных изменений. Наиболее важным материалом данного документа являются указания по оценке результатов испытания, так как эти данные служат основой для оценки качества произведенной партии железобетонных конструкций.

В рассматриваемом документе (ГОСТ 8829-2018) разработаны правила для оценки основных параметров железобетонной конструкции: прочности, жесткости и трещиностойкости. От прочности конструктивных элементов зависит безопасность эксплуатации зданий и сооружений. Жесткость и трещиностойкость являются основными эксплуатационными показателями.

В предыдущей редакции ГОСТ 1994 года [5] пригодность произведенной партии железобетонных изделий по прочности (соответствие проектным требованиям) оценивалась путем сравнения фактической несущей способности одной или нескольких отобранных из партии и испытанных железобетонных конструкций с контрольным значением, установленным в стандарте или проектной документации. Логика сопоставления значений прочности изделия следующая. При испытании одной конструкции, выбранной из партии продукции, фактическая несущая способность при испытании должна быть, безусловно, большей контрольного значения нагрузки по прочности или равной ему. При испытании отобранного изделия может возникнуть ситуация, когда показатель прочности конструкции на 5-10 % может оказаться ниже контрольного параметра. В результате в данном случае придется браковать всю партию произведенных конструкций (практически такие конструкции принимают под более низкую нагрузку, теряя в цене продукции). Поэтому ГОСТ предусматривает возможность испытания двух, трех или большего количества конструкций. В случае испытания двух образцов сравнение фактически полученной прочности конструкций производится с контрольным значением, сниженным на 5 % (значение умножается на коэффициент 0,95), при испытании трех образцов контрольное значение снижается на 10 % (значение контрольной нагрузки умножается на коэффициент 0,9). Обоснование таких указаний заключается в том, что при увеличении количества испытанных образцов из партии конструкций повышается достоверность полученных результатов. Следовательно, несколько снижаются требования к контрольному значению нагрузки по проверке прочности.

Например, на заводе ЖБиК проведено контрольное периодическое испытание многопустотной плиты ПБ 72.15-8-30, отобранной из партии изготовленных конструкций. Контрольное значение прикладываемой нагрузки по прочности 1264 кгс/м² при $C = 1,3$ и 1497 кгс/м² при $C = 1,6$. Плита разрушилась при нагрузке 1210 кгс/м² от текучести арматуры. Сравнивая с контрольным значением 1264 кгс/м² при $C = 1,3$, получили, что плита не выдержала испытание по прочности. Тогда провели испытание второго образца из партии. Испытанная конструкция выдержала нагрузку 1500 кгс/м² (также пластический характер разрушения). Таким образом, оба результата сопоставляются уже со значением $0,95 \times 1264 = 1201$ кгс/м². Получено, что оба результата испытания (1210 и 1500 кгс/м²) превышают данное значение. Партия конструкций оценивается как прошедшая испытание по прочности.

В документе предусматривается возможность испытания большего количества образцов (более трех). Но коэффициент снижения контрольного значения нагрузки не меняется. Практически, если одна из трех испытанных конструкций показала прочность менее 90 % от контрольной, то дальнейшие испытания бесполезны – партию под данную нагрузку принимать нельзя.

Таким образом, указания по оценке прочности при контроле качества железобетонных конструкций в новой редакции ГОСТ 8829-2018 сохранились такими же, как в

предыдущей версии ГОСТ 8829-94. Внесены небольшие изменения: в новой редакции ужесточились требования к конструкциям, разрушение которых происходит хрупко ($C = 1,6$). Теперь требуется 100-процентное превышение нагрузки фактической над контрольной. Кроме этого в новой редакции введен единый коэффициент безопасности для определения контрольной нагрузки по прочности $C = 1,3$ при пластическом характере разрушения конструкции. В предыдущей редакции коэффициент варьировался в зависимости от класса рабочей арматуры от 1,25 до 1,4.

По проверке параметров жесткости и трещиностойкости в редакции документа ГОСТ 8829-94 сохранялась та же логика: при увеличении количества испытанных образцов несколько снижались требования к контрольному значению прогиба и ширины раскрытия трещин. Проверка жесткости осуществляется путем сравнения фактического значения прогиба конструкции, полученного при испытании, с контрольным значением прогиба, установленным в проектной документации.

Согласно указаниям п. 9.2.4 ГОСТ 8829-94 [5], изделия признают выдержавшими испытание при выполнении следующих условий:

- при испытании одного изделия фактический прогиб не превышает контрольный более чем на 10 % ($1,1 f_{cont}$);
- при испытании двух изделий максимальный фактический прогиб не превышает контрольный более чем на 15 % ($1,15 f_{cont}$);
- при испытании трех и большего количества изделий прогиб не превышает более чем на 20 % ($1,2 f_{cont}$).

В новой редакции ГОСТ 8829-2018 указания по оценке жесткости изложены в п. 10.1.15.

Изделие признают удовлетворяющим требованиям по эксплуатационной пригодности, если соблюдается следующее условие:

$$\frac{f_{test}}{f_{ult}} \leq \alpha_2,$$

где f_{test} – значение прогиба при контрольной нагрузке; f_{ult} – значение предельно допустимого прогиба.

Параметр α_2 принимается равным 1,1; 0,9 и 0,85 при испытании соответственно одного, двух и трех и более изделий.

Таким образом, в новой редакции появились существенные отличия. Во-первых, вводится понятие «эксплуатационная пригодность». Причем в разделе 3 ГОСТ 8829-2018 «Термины и определения» суть введенного понятия не раскрывается. Понятно, что под эксплуатационной пригодностью понимается сумма оценки жесткости и трещиностойкости. Но в документах такого уровня должно быть четкое определение. В названии документа прописано: оценка прочности, жесткости и трещиностойкости. А в данном разделе описывается оценка прочности и эксплуатационной пригодности.

Во-вторых, неожиданно появляется значение предельно допустимого прогиба f_{ult} . Обратившись к разделу 3 «Термины и определения», находим описание термина «контрольный прогиб» – значение прогиба изделия при его нагружении в положении, отличном от проекта, с которым сопоставляется фактический прогиб изделия под контрольной нагрузкой для оценки пригодности этого изделия по жесткости. Значения

предельно допустимых прогибов конструкций даны в приложении Д СП 20.13330 «Нагрузки и воздействия» [7]. Но значения предельных перемещений не однозначны, и надо четко определить, какое значение выбирать. В приложении Б ГОСТ 8829-2018 «Указания по назначению контрольных нагрузок, прогибов и ширины раскрытия трещин» приведена методика определения все же контрольного прогиба f_{contr} . По всей видимости, введение понятие «предельно допустимый прогиб» можно считать досадной опiskeй.

Но основное отличие оценки жесткости заключается в приведенной методике. Указано, что при испытании одного изделия сравнение фактического прогиба проводится с контрольным значением $1,1f_{contr}$, при испытании двух и трех изделий – соответственно с $0,9f_{cont}$ и $0,85f_{cont}$. То есть нарушается логика предыдущего издания: чем больше образцов испытывается, тем ниже контрольное значение. Если принять, что методика в новой редакции не ошибка (что опять же недопустимо для документа такого уровня), то следует признать, что она теряет смысл при практическом применении.

Например, при испытании многопустотной плиты ПБ 72.15-8-30, отобранной из партии изготовленных конструкций, получено фактическое значение прогиба при контрольной нагрузке по проверке жесткости 20 мм. Контрольное значение прогиба указано в проекте – 17 мм. Сравниваем значение фактического прогиба $f_{test} = 20$ мм с контрольным значением $1,1 \cdot 17 = 18,7$ мм (испытание одного образца) и получаем, что плита (а следовательно, и партия конструкций) не соответствует требованиям по жесткости. Но при использовании методики новой редакции ГОСТ при испытании второго и третьего образцов ситуация не изменится, так как контрольный параметр снижается, и 20 мм никак не будет меньше $0,9f_{cont} = 15,3$ мм и $0,85f_{cont} = 14,45$ мм. Зачем проводить второе и третье испытания?

Обратимся к третьему контрольному параметру – оценке трещиностойкости. В редакции ГОСТ 8829-94 приведены следующие указания (п. 9.3.4). Изделия и (или) их части, к трещиностойкости которых предъявляются требования 2-й и 3-й категорий, признают годными, если при действии прикладываемой нагрузки выполняется условие: в случае испытаний одного, двух, трех изделий и более максимальная ширина раскрытия трещин не должна превышать контрольную, умноженную соответственно на коэффициенты 1,05; 1,10; 1,15, и, кроме того, не должна превышать нормируемое значение предельно допустимой ширины непродолжительного раскрытия трещин. При невыполнении указанного условия изделия признают не выдержавшими испытания.

В новой редакции ГОСТ 8829-2018 методика оценки трещиностойкости следующая.

Изделие признают удовлетворяющим требованиям по эксплуатационной пригодности, если соблюдается следующее условие:

$$\frac{a_{test}}{a_{cont}} \leq 1,0,$$

где a_{test} – значение ширины раскрытия трещин при контрольной нагрузке; a_{cont} – контрольное значение ширины раскрытия трещин, принимаемое в зависимости от предельной a_{ult} ширины раскрытия трещины по таблице.

В новой редакции ГОСТ 8829-2018 оценка по параметру ширины раскрытия трещин (трещиностойкости) не зависит от количества испытанных конструкций из оцениваемой партии конструкций. Такое изменение следует признать положительным. Практически при контрольных испытаниях железобетонных конструкций на заводах строительной промышленности ширина раскрытия трещин измеряется отсчетными микроскопами с ценой деления 0,05 мм. Поэтому коэффициенты 1,05; 1,1 и 1,15, вводимые для корректировки ширины раскрытия трещин, приводили к уточнениям за рамками точности измерений данного параметра.

Назначение контрольного значения ширины раскрытия трещин

Предельно допустимая ширина раскрытия трещин a_{ult} , мм	Контрольное значение ширины раскрытия трещин a_{cont} , мм
Не допускается	0
0,05	0,05
0,1 – 0,15	0,1
0,2 – 0,25	0,15
0,3	0,2
0,4	0,25

В новой редакции следовало уточнить, как принимать значение предельно допустимой ширины раскрытия трещин. В нормах проектирования железобетонных конструкций [8] указано несколько значений данного параметра: при длительном и кратковременном действии нагрузки; из условия сохранности арматуры и условия ограничения проницаемости конструкций.

Выводы. Периодическое обновление нормативной документации – важный процесс, направленный на максимальный учет последних достижений науки и практики. Государственный стандарт (ГОСТ 88929-94) на испытание железобетонных конструкций нагружением, являвшийся основным документом при оценке параметров качества (прочности, жесткости и трещиностойкости) сборных изделий на заводах строительной промышленности, был обновлен в 2018 году (ГОСТ 88929-2018). Редакция 1994 года действовала более 20 лет и успешно использовалась на заводах, производящих железобетонные конструкции.

Указания по оценке прочности конструкций сохранили преемственность с прошлого издания документа. Сохранилась логика получения достоверных результатов: чем больше испытано конструкций (одно, два или три испытания), тем больше снижение контрольного значения нагрузки.

В оценке жесткости (прогибов) железобетонных конструкций методика существенно изменена. Отменен принцип зависимости корректировки контрольного значения параметра от количества испытанных образцов: при увеличении количества результатов испытаний (один, два, три или более) контрольное значение прогиба корректировалось в сторону увеличения. В новой редакции в указаниях по оценке жесткости принято уменьшить контрольный параметр для второго и третьего образцов, что делает бессмысленным проведение дополнительных испытаний, если при первом испытании фактический прогиб превысит контрольное значение.

Отмечено наличие терминологических погрешностей: введение понятия «предельно допустимый прогиб» вместо «контрольное значение прогиба».

При оценке качества конструкций по параметру «ширина раскрытия трещин» в новой редакции был отменен принцип зависимости контрольного значения от количества испытанных образцов. В данном случае такое решение достаточно обосновано, так как корректировка контрольного значения ширины раскрытия трещин на 5, 10 и 15 %, как было в предыдущей редакции документа, при практическом применении не выходила за пределы прочности измерений при испытаниях.

Необходимо уточнить методику оценки жесткости конструкций и привести в соответствие терминологию основных параметров.

Список литературы

1. Детали железобетонные сборные. Методы испытаний и оценки прочности, жесткости и трещиностойкости: ГОСТ 8829-58. – Введ.1959-01-01. – Москва: Госстандарт СССР, 1959. – 25 с.
2. Изделия железобетонные сборные. Методы испытаний и оценки прочности, жесткости и трещиностойкости: ГОСТ 8829-66. – Введ.1967-01-01. – Москва: Госстандарт СССР, 1967. – 23 с.
3. Конструкции и изделия железобетонные сборные. Методы испытаний и оценки прочности, жесткости и трещиностойкости: ГОСТ 8829-77. – Введ. 1978-01-01. – Москва: Издательство стандартов, 1979. – 24 с.
4. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Методы испытаний нагружением и оценка прочности, жесткости и трещиностойкости: ГОСТ 8829-85. – Введ. 1986-01-01. – Москва: Издательство стандартов, 1986. – 24 с.
5. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости: ГОСТ 8829-94. – Введ. 1998-01-01. – Москва: ГУП ЦПП, 1997. – 34 с.
6. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости: ГОСТ 8829-2018. – Введ. 2019-09-01. – Москва: Кодекс, 2018. – 18 с.
7. Свод правил: СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия: нормативно-технический материал. – Введ. 2017-06-04. – Москва: Кодекс, 2018. – 99 с.
8. Свод правил: СП63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения: актуализированная редакция СНиП 52-01-2003: нормативно-технический материал. – Введ. 2019.06.20. – Москва: [б.и.], 2019. – 155 с.

UPDATE OF REGULATORY DOCUMENTS FOR TESTING REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Pozdeev Victor Mikhailovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

The analysis of changes in the latest edition of GOST 8829-2018 “Concrete and reinforced concrete prefabricated structures and products. Loading test methods. Rules for assessing strength, stiffness and crack resistance”. It was noted that some provisions in the new edition of the document are not sufficiently substantiated and require additional verification.

Keywords: *load testing of reinforced concrete structures; control parameters; methods for evaluating test results; assessment of strength; rigidity and crack resistance.*

УДК 624.012

ДИАГРАММА ДЕФОРМИРОВАНИЯ БЕТОНА

Соловьёв Николай Павлович

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

Расчет железобетонных конструкций по нелинейной деформированной модели выполняется с использованием диаграмм деформирования бетона и арматуры. Сложность и точность расчета зависит от формы диаграмм и математического алгоритма её описания. В данной статье рассмотрены диаграммы деформирования бетона. За базовую диаграмму принята диаграмма, представленная в СП 63.13330.2018. В результате регрессионного анализа установлена наиболее простая и достоверная диаграмма деформирования бетона – диаграмма Евро-Интернационального комитета по бетону (ЕКБ-ФИП).

Ключевые слова: железобетон; нелинейная теория расчета; диаграмма деформирования бетона.

Введение. Согласно п. 5.1.2 [1], расчет бетонных и железобетонных конструкций по предельным состояниям первой и второй групп производят с учетом физической нелинейности (неупругих деформаций бетона и арматуры), возможного образования трещин и в необходимых случаях с учетом анизотропии, накопления повреждений и геометрической нелинейности. В п. 6.1.19 [1] отмечается, что в качестве расчетных диаграмм состояния бетона, определяющих связь между напряжениями и относительными деформациями, рекомендуется использовать следующие виды диаграмм: криволинейные и кусочно-линейные. Расчеты с учетом физической нелинейности железобетона невозможно выполнить «ручным» методом. У инженеров-проектировщиков, студентов и магистрантов строительных направлений подготовки, например, при изучении дисциплины «Исследование и проектирование железобетонных конструкций» возникает необходимость самостоятельно разрабатывать алгоритмы расчета железобетона по нелинейной деформированной модели с использованием наиболее доступной среды Microsoft Excel.

Цель работы – установить наиболее простую, но в то же время наиболее достоверную модель деформирования бетона, которую следует применять при разработке простых алгоритмов расчета железобетона по нелинейной теории.

Материал и методика исследования. Вопросам аналитического описания диаграмм деформирования бетона посвящено большое количество научных работ как в нашей стране, так и за рубежом. Исходя из особенностей бетона (тяжелый, высокопрочный и т.п.), исследователи предлагают новые зависимости или корректируют известные ранее. В статье рассматриваются наиболее известные зависимости, разработанные для тяжелого бетона, которые успешно используются в расчетах железобетона по нелинейной деформированной модели. Выбор оптимального вида диаграммы деформирования бетона выполнен на основе корреляционно-регрессионного анализа.

Результаты и их анализ. В приложении СП 63.13330.2018 [1] приводится криволинейная диаграмма деформирования бетона (рис. 1). Диаграмма бетона имеет две вет-

ви: одна ветвь относится к сжатию (рис. 1а), а вторая – к растяжению (рис. 1б). Напряжения и деформации сжатия принимаются отрицательными, а растяжения – положительными.

В статье рассматривается диаграмма деформирования бетона на сжатие, так как она определяет работу всех стадий напряженно-деформированного состояния железобетона под нагрузкой. Диаграмма деформирования бетона на растяжение учитывается только при первой стадии, т.е. до момента образования трещин в растянутой зоне бетона.

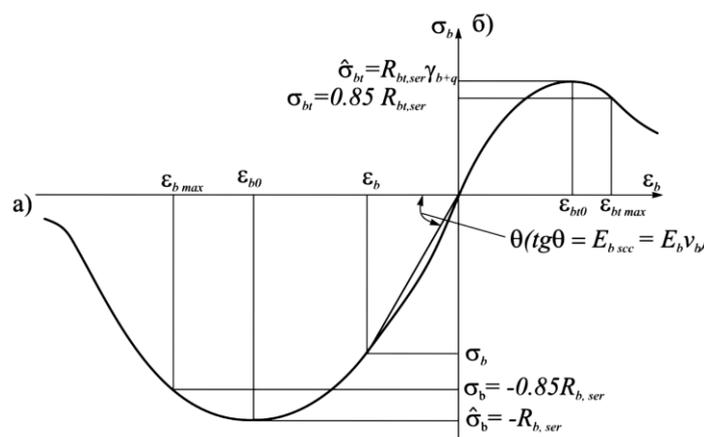


Рис. 1. Диаграмма деформирования бетона при растяжении (б) и сжатии (а)

Аналитическая зависимость описания диаграммы сжатия бетона « $\varepsilon_b - \sigma_b$ » (рис. 1а) используется в виде

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b \nu_b}, \quad (1)$$

где E_b – начальный модуль упругости бетона;

ν_b – коэффициент изменения секущего модуля:

$$\nu_b = \hat{\nu}_b \pm (\nu_0 - \hat{\nu}_b) \sqrt{1 - \omega \eta - (1 - \omega) \eta^2},$$

для восходящей ветви диаграммы применяется знак плюс «+», а для нисходящей – минус «-»;

η – уровень напряжений в бетоне (положительная величина):

$$\eta = \sigma_b / \hat{\sigma}_b,$$

где σ_b – текущее напряжение в бетоне;

$\hat{\sigma}_b$ – напряжение в вершине диаграммы. Для расчетной диаграммы (первая группа предельных состояний) $\hat{\sigma}_b = -R_b$;

$\hat{\nu}_b$ – коэффициент изменения секущего модуля в вершине диаграммы (положительная величина):

$$\hat{\nu}_b = \frac{\hat{\sigma}_b}{E_b \hat{\varepsilon}_b},$$

$\hat{\varepsilon}_b$ – деформация бетона в вершине диаграммы:

$$\hat{\varepsilon}_b = -\frac{B}{E_d} \lambda \frac{1 + 0,75\lambda B/60 + 0,2\lambda/B}{0,12 + B/60 + 0,2/B},$$

где λ – безразмерный коэффициент, зависящий от вида бетона. Для тяжелого бетона $\lambda = 1$.

Для восходящей ветви начальный коэффициент изменения секущего модуля $\nu_0 = 1,0$ и коэффициент кривизны диаграммы $\omega = 2 - 2,5\hat{\nu}_b$; для нисходящей ветви – соответственно $\nu_0 = 2,05\hat{\nu}_b$, $\omega = 1,95\hat{\nu}_b - 0,138$.

На рисунке 2а приведены диаграммы деформирования бетона класса В20 и В30, вычисленные по вышеприведенному алгоритму. Вид диаграмм полностью соответствует работе бетона сжатой зоны в изгибаемых железобетонных элементах (рис. 2б).

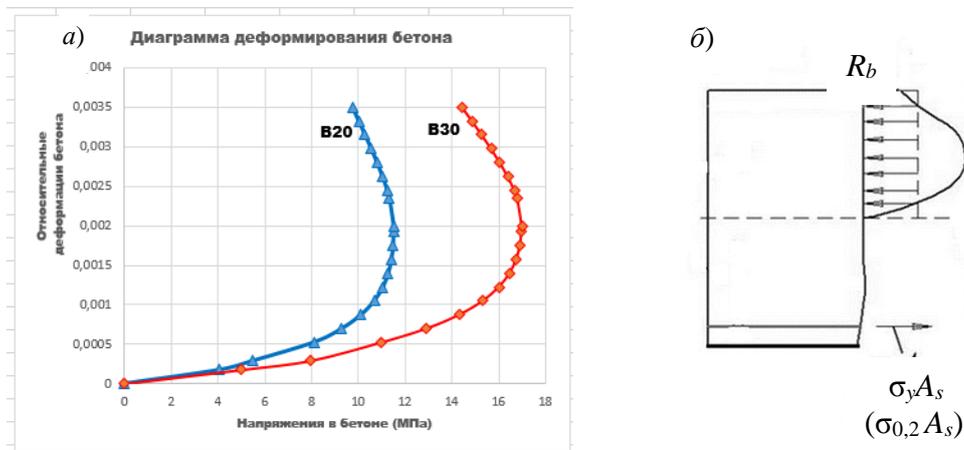


Рис. 2. Диаграммы деформирования бетона (а) и расчетное сечение изгибаемого элемента (б)

Исходя из гипотезы плоского сечения, основным недостатком указанного алгоритма является то, что расчет железобетона по нелинейной теории выполняется по значениям относительных деформаций бетона с использованием следующей зависимости:

$$\sigma_b = \nu_b \varepsilon_b E_b. \quad (2)$$

В пособии «Статически неопределимые железобетонные конструкции. Диаграммные методы автоматизированного расчета и проектирования» [2], подготовленном авторским коллективом в составе Н. И. Карпенко, В. И. Травуша, С. Н. Карпенко, А. Н. Петрова и др., рекомендуется коэффициент ν_b в условии (2) определять через уровень деформаций $\eta_d = \varepsilon_b / \hat{\varepsilon}_b$ из решения уравнения

$$A\nu_b^2 + B\nu_b + C = 0,$$

где

$$A = \hat{\nu}_b^2 + (1 - \omega)\eta_d^2(\nu_0 - \hat{\nu}_b)^2;$$

$$B = -2\hat{\nu}_b^3 + \omega\eta_d\hat{\nu}_b(\nu_0 - \hat{\nu}_b)^2;$$

$$C = -\hat{\nu}_b^2(\nu_0^2 - 2\nu_0\hat{\nu}_b) = 0.$$

Относительные деформации и напряжения в бетоне, вычисленные по указанным зависимостям, полностью соответствуют данным деформирования бетона « $\varepsilon_b - \sigma_b$ » по условию (1). На рисунке 3 представлены диаграммы деформирования бетона по условию (2).

О. В. Радайкин предлагает модель деформирования бетона при одноосном кратковременном сжатии, полученную с применением деформационного критерия повреждаемости (рис. 4) [3]. Уравнение деформирования бетона

$$\sigma_b = a_c(1 - b_c D_b)^{c_b} E_b \varepsilon_b, \quad (3)$$

где

$$D_b = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{b2}}; \quad a_c = \frac{2,7R_b}{E_b \varepsilon_{b0}};$$

$$b_c = \frac{1}{50R_b}; \quad c_b = 50R_b \frac{\varepsilon_{b2}}{\varepsilon_{b0}} - 1.$$

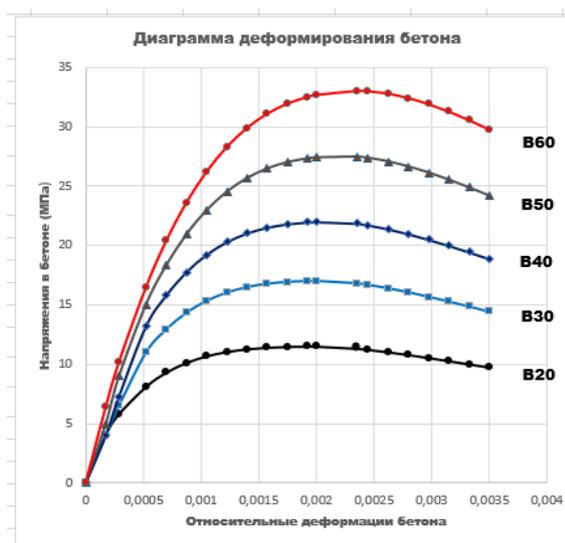


Рис. 3. Диаграммы деформирования бетона по условию $\sigma_b = \nu_b \varepsilon_b E_b$

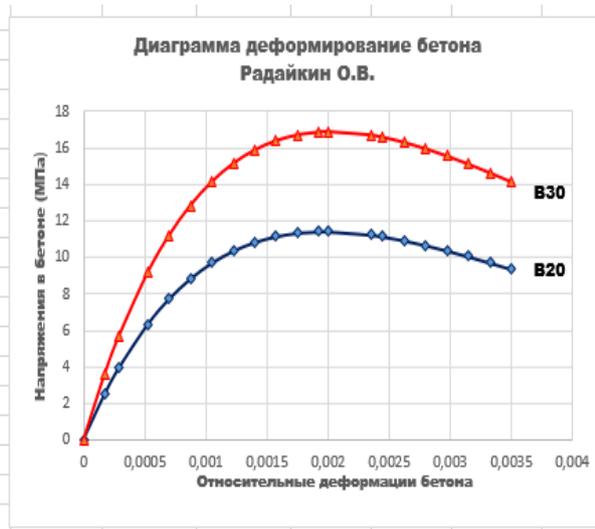


Рис. 4. Диаграммы деформирования бетона по условию $\sigma_b = a_c(1 - b_c D_b)^{c_b} E_b \varepsilon_b$

Евро-Интернациональный комитет по бетону в качестве полной диаграммы (рис. 5), устанавливающей зависимость между напряжениями и деформациями, предлагает универсальную и вместе с тем простую зависимость « $\sigma_b - \varepsilon_b$ », учитывающую уровень деформаций $\eta = \varepsilon_b / \hat{\varepsilon}_b$, в виде

$$\sigma_b = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k - 2)\eta} R_b, \quad (4)$$

где σ_b – напряжение в бетоне;

$\eta = \varepsilon_b / \hat{\varepsilon}_b$ – уровень деформации бетона;

ε_b – текущие относительные деформации в бетоне;

$\hat{\varepsilon}_b$ – деформация бетона в вершине диаграммы;

R_b – прочность бетона в вершине диаграммы.

Коэффициент, характеризующий упругопластические свойства бетона, определяется по формуле $k = \frac{E_b}{R_b} \varepsilon_b$.

СП 63.13330.2018 наряду с криволинейной диаграммой рекомендует использовать трехлинейные диаграммы деформирования бетона. Трехлинейная диаграмма для бетонов классов В20 и В30 с учетом основных параметрических точек (максимальные напряжения и соответствующие деформации, граничные значения и т.д.) представлена на рисунке 6.

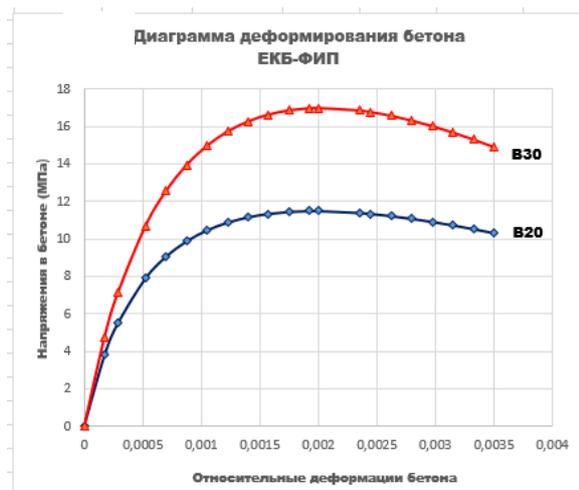


Рис. 5. Диаграммы деформирования бетона по условию $\sigma_b = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta} R_b$

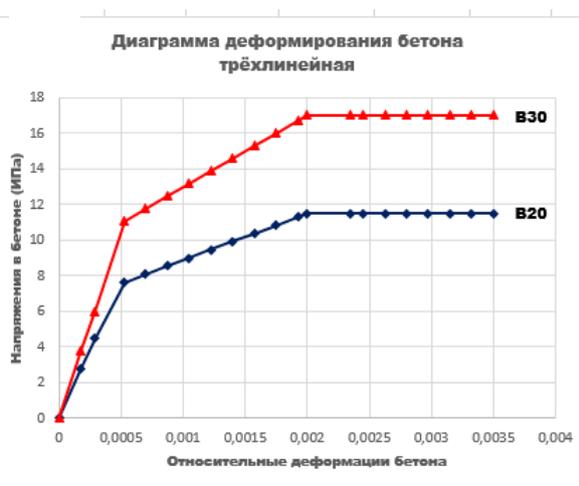


Рис. 6. Трехлинейная диаграммы деформирования бетона по СП 63.13330.2018

Для оценки степени сходимости исследуемых диаграмм с нормативной диаграммой (диаграмма Карпенко) выполнен регрессионный анализ для бетонов классов В20-В60, результаты которого приведены в нижеприведенной таблице.

Сравнения диаграмм деформирования бетона с диаграммой Н. И. Карпенко по коэффициенту корреляции

Тип диаграммы	Класс бетона								
	В20	В25	В30	В35	В40	В45	В50	В55	В60
Трёхлинейная СП	0,9432	0,9565	0,9595	0,9649	0,9693	0,9757	0,9804	0,9838	0,9864
ЕКБ-ФИП	0,9961	0,9970	0,9962	0,9955	0,9975	0,9974	0,9973	0,9985	0,9996
Радайкин О.В.	0,9821	0,9906	0,9925	0,9933	0,9953	0,9962	0,9965	0,9978	0,9993

Выводы. Для расчета железобетонных конструкций по нелинейной деформированной модели предлагаются различные аналитические зависимости диаграмм деформирования бетона, основанных на степенных, параболических и других сложных уравнениях. В результате анализа установлено, что наиболее простой и точной зависимостью является зависимость, предложенная Евро-Интернациональным комитетом по бетону (ЕКБ-ФИП). Кроме того, по мере увеличения класса бетона исследуемые диаграммы деформирования бетона практически приближается к диаграмме Н. И. Карпенко.

Список литературы

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003 (с Изменением № 1). – Москва: НИЦ "Строительство" - НИИЖБ, ФГУП ЦПП, 2019. – 146 с.
2. Статически неопределимые железобетонные конструкции. Диаграммные методы автоматизированного расчета и проектирования / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. – Москва, 2017. – 197 с.
3. Радайкин О.В. К построению диаграмм деформирования бетона при одноосном кратковременном растяжении/сжатии с применением деформационного критерия повреждаемости // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 6 (65). – С. 71-78.

DEFORMATION DIAGRAM CONCRETE

Solovev Nikolai Pavlovich

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

Calculation of reinforced concrete structures based on a nonlinear deformed model is performed using deformation diagrams of concrete and reinforcement. The complexity and accuracy of the calculation depends on the shape of the diagrams and the mathematical algorithm for describing it. Concrete deformation diagrams are considered. The diagram presented in SP 63.13330.2018 was taken as the basic diagram. As a result of the regression analysis, the simplest and most reliable diagram of concrete deformation was established – the diagram of the Euro-International Committee for Concrete (ECB-FIP).

Keywords: *reinforced concrete; nonlinear calculation theory; concrete deformation diagram.*

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ. ИНЖЕНЕРИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 517.54

О ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЯХ УРАВНЕНИЯ Ф. Д. ГАХОВА ДЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ В КЛАССЕ ФУНКЦИЙ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ ФУНКЦИОНАЛА ВЫПУКЛОСТИ α -ЗВЕЗДООБРАЗНЫМИ

*Микка Константин Васильевич¹, Микка Василий Петрович²,
Кострова Вероника Александровна²*

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

²ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», г. Йошкар-Ола
mikka_k@mail.ru

Корни уравнения Ф. Д. Гахова, возникшего как условие замкнутости искомого контура во внешней обратной краевой задаче (ОКЗ) в постановке Ф. Д. Гахова, явно входят в оператор, определяющий решения ОКЗ. Поэтому, чтобы явно построить эти решения, необходимо знать все корни уравнения Ф. Д. Гахова при одинаковых краевых условиях. В данной работе приведены явные значения таких корней, когда функционал выпуклости выпуклости подчинён α -звездообразным экстремальным функциям при $n = 2$.

Ключевые слова: уравнение Ф. Д. Гахова, α -звездообразные экстремальные функции, тригонометрическая формула Кардана.

В работе [1] приводится описание границы множества $\Pi_{n=2,p=1,a}(\alpha, \beta)$ единственности решения $\zeta = 0$ уравнения Ф. Д. Гахова [2], [3]

$$\frac{f''(\zeta)}{f'(\zeta)} = \frac{2\bar{\zeta}}{1 - |\zeta|^2} \quad (1)$$

в классе

$$S_{n=2,\alpha,\beta;\Phi_{p=1,a;|\alpha|}(\zeta)}^0 = \{f(\zeta) = \zeta + a_{n+1}\zeta^{n+1} + \dots : \zeta \frac{f''(\zeta)}{f'(\zeta)} < (\alpha + \beta) \frac{\zeta}{(1 - |\alpha|\zeta^p)^{\frac{2(1+a)}{p}}} = (\alpha + \beta)\Phi_{p,a;|\alpha|}(\zeta)\} \quad (2)$$

при $\alpha + i\beta \in \Pi = \{(\alpha, \beta) : \alpha + \beta > 0, \alpha \in [-1, 1], a \in (-1, \infty)\}$.

При этом отмечается, что множества $\Pi_{n=2;p=1;a}(\alpha, \beta)$ являются точными, ибо для экстремальных функций из (2), определяемых из соотношения

$$\zeta \frac{f''(\zeta)}{f'(\zeta)} < (\alpha + \beta) \frac{\zeta}{(1 - |\alpha|\zeta^2)^{2(1+a)}}, \quad (3)$$

появляются решения уравнения (1), отличные от $\zeta = 0$, при $\alpha + i\beta \in \Pi \setminus \Pi_{n=2;p=1;a}(\alpha, \beta)$. Однако сами дополнительные решения $\zeta = \zeta_0 \neq 0$, которые входят в задание оператора

$$z = z(\zeta) \equiv Af = e^{i\alpha} \int f'(\zeta) \left(\frac{1 - \bar{\zeta}_0 \zeta}{\zeta - \zeta_0} \right)^2 d\zeta + C,$$

определяющего при $\zeta e^{i\alpha}$ искомый контур L_z^- во внешней обратной краевой задаче в постановке Ф. Д. Гахова [2], не приводятся.

Регулярная функция

$$\ln f'(\zeta) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \ln \frac{ds e^{i\theta} + \zeta}{d\theta e^{i\theta} - \zeta} d\theta$$

находится согласно краевым условиям.

Кстати, уравнение (1) появляется из требования замкнутости контура L_z^- .

Отметим, что ограничению (2) далее при $\alpha = 0$ и любых $\alpha \in (-1, \infty)$, $n \geq 2$, $p \geq 1$ удовлетворяют невыпуклые регулярные функции в $E = \{\zeta: |\zeta| < 1\}$.

Мы исследуем вопрос о дополнительных решениях (1) для экстремальных функций (3) при $a \in (-1, \infty)$.

Справедлива

Теорема. Для экстремальных функций (3) семейства $S_{n=2;\alpha;\beta;\Phi_{p=1;a;|\alpha|}(\zeta)$ решениями уравнения (1) являются:

1) $\zeta_0 = 0$ – корень кратности три, если $\alpha + \beta - 2 = 0$, когда $a \in (-1, -\frac{1}{2})$ или $a \in (-\frac{1}{2}, \infty)$ при $|\alpha| \in [0, \alpha_{2;1}(a)]$, где $\alpha_{2;1}(a) = \frac{1}{2(1+a)}$;

2) $\zeta_0 = 0$; $\zeta_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{-1+2|\alpha|}{|\alpha|^2}}$, если $\alpha + \beta - 2 = 0$, $|\alpha| \in (\frac{1}{2}, 1)$ при $a = 0$;

3) $\zeta_0 = 0$; $\zeta_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{3}{2|\alpha|} - \sqrt{\frac{1}{|\alpha|^3} - \frac{3}{4|\alpha|^2}}}$, если $\alpha + \beta - 2 = 0$, $|\alpha| \in (\frac{1}{3}, 1)$ при $a = \frac{1}{2}$;

4) $\zeta_0 = 0$; $\zeta_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{\sqrt{2}}{3|\alpha|} (\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{ctg}\varphi) + \frac{4}{3|\alpha|}}$,

где $\operatorname{tg}\varphi = \sqrt[3]{\frac{-(27-20|\alpha|) + \sqrt{(27-20|\alpha|)^2 + 32|\alpha|^2}}{4\sqrt{2}|\alpha|}}$, если $\alpha + \beta - 2 = 0$, $|\alpha| \in (\frac{1}{4}, 1)$ при $a = 1$;

5) $\zeta_0 = 0$; $\zeta_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{2(1+a)-1}{(2a+1)|\alpha|}}$, если $\alpha + \beta - 2 < 0$, $|\alpha| \in (-\frac{1}{2}, \infty)$, когда

$$\alpha + i\beta \in L_{2;1;a}^+(\alpha, \beta) = \{(\alpha, \beta): (\alpha + \beta) \frac{1 - |\alpha|}{(2a + 1)|\alpha|} - 2 \left[\frac{2(1 + a)(1 - |\alpha|)}{2a + 1} \right]^{2(1+a)} = 0, \text{ если } |\alpha| > \alpha_{2;1}(a)\};$$

$$6) \zeta_0 = 0; \zeta_{1,2} = \pm \sqrt{2 \sqrt{\frac{\alpha+\beta}{6|\alpha|^3}} \cos \left\{ \frac{1}{3} \arccos \left[\frac{3}{2} (1 - |\alpha|) \sqrt{\frac{6|\alpha|}{\alpha+\beta} + \frac{4\pi}{3}} \right] + \frac{1}{|\alpha|} \right.}$$

$$\left. \zeta_{3,4} = \pm \sqrt{2 \sqrt{\frac{\alpha+\beta}{6|\alpha|^3}} \cos \left\{ \frac{1}{3} \arccos \left[\frac{3}{2} (1 - |\alpha|) \sqrt{\frac{6|\alpha|}{\alpha+\beta} + \frac{4\pi}{3}} \right] + \frac{1}{|\alpha|} \right.}$$

если $\alpha + i\beta \in \Pi'_{2;1;a=\frac{1}{2}}(\alpha, \beta)$ с границей

$$\partial \Pi'_{2;1;a=\frac{1}{2}}(\alpha, \beta) = L^+_{2;1;a=\frac{1}{2}}(\alpha, \beta) \cup (1 - i; 1 + i) \cup (1 + i; \frac{1}{3} + \frac{5}{3}i) \text{ при } \alpha \in \left(\frac{1}{3}, 1\right) \text{ и}$$

$$\partial \Pi'_{2;1;a=\frac{1}{2}}(\alpha, \beta) = L^+_{2;1;a=\frac{1}{2}}(\alpha, \beta) \cup (-1 + i; -1 + 3i) \cup (-1 + 3i; -\frac{1}{3} + \frac{7}{3}i)$$

при $\alpha \in \left(-1; -\frac{1}{3}\right)$;

$$7) \zeta_0 = 0; \zeta_{1,2} = \pm \sqrt{2 \sqrt{\frac{\alpha+\beta}{6|\alpha|^3}} \cos \left\{ \frac{1}{3} \arccos \left[\frac{3}{2} (1 - |\alpha|) \sqrt{\frac{6|\alpha|}{\alpha+\beta} + \frac{4\pi}{3}} \right] + \frac{1}{|\alpha|} \right.}$$

если $\alpha + \beta > 2$ при $a = \frac{1}{2}$ и $|\alpha| \in [0, 1]$;

$$8) \zeta_0 = 0; \zeta_{1,2} = \pm \sqrt{1 - \frac{2}{\beta}}, \text{ если } \alpha = 0, \beta > 2, \text{ когда } a = \frac{1}{2}.$$

Уравнение (1) для функций (3) при $\zeta = re^{i\theta}$ равносильно соотношению

$$r[(\alpha + \beta)(1 - r^2) - 2(1 - |\alpha|r^2)] = r\tilde{\omega}_{2;1;\alpha,\beta;a}(r) = 0$$

и при этом для

$$\tilde{\omega} = \hat{\omega}_{2;1;\alpha,\beta;a}(r) = (\alpha\alpha + \beta)(1 - r^2) - 2(1 - |\alpha|r^2)^{2(1+a)} \quad (4)$$

выполнены условия

$$1) \hat{\omega}_{2;1;\alpha,\beta;a}(r)|_{r=+0} = \begin{cases} 0, \text{ если } \alpha + \beta - 2 = 0, \\ < 0, \text{ если } \alpha + \beta - 2 < 0, \\ > 0, \text{ если } \alpha + \beta - 2 > 0, \end{cases}$$

$$2) \hat{\omega}_{2;1;\alpha,\beta;a}(r)|_{r=1-0} = -2(1 - |\alpha|)^{2(1+a)} < 0,$$

обеспечивающие существование корней (4) при разных a .

Наиболее интересным является поведение (4) при $\alpha + \beta - 2 < 0$. Так, например, первый корень $r \in (0, 1)$ уравнения $\hat{\omega}_{2;1;\alpha,\beta;a}(r) = 0$ появляется из условия первого касания этой кривой и интервалом $r \in (0, 1)$, что возможно только при $|\alpha| \in (\alpha_{2;1}(a), 1)$,

где $\alpha_{2;1}(a) = \frac{1}{2(1+a)}$, и это обстоятельство равносильно системе

$$\begin{cases} \frac{d}{dr} \hat{\omega}_{2;1;\alpha,\beta;a}(r) = 2r(1 - |\alpha|r^2)^{-1} \{ (\alpha + \beta)(1 - |\alpha|r^2) + 4|\alpha|(1 + a)(1 - |\alpha|r^2)^{2(1+a)} \} = 0, \\ \hat{\omega}_{2;1;\alpha,\beta;a}(r) = (\alpha + \beta)(1 - r^2) - 2(1 - |\alpha|r^2)^{2(1+a)} = 0 \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} (\alpha + \beta)[-(1 - |\alpha|r^2) + 2|\alpha|(1 + a)(1 - r^2)] = 0, \\ (\alpha + \beta)(1 - r^2) - 2(1 - |\alpha|r^2)^{2(1+a)} = 0 \end{cases}$$

приводит к уравнению кривой

$$L_{2;1;a}^+(\alpha, \beta) = \{(\alpha, \beta): (\alpha + \beta) \frac{1 - |\alpha|}{(2a + 1)|\alpha|} - 2 \left[\frac{2(1 + a)(1 - |\alpha|)}{2a + 1} \right]^{2(1+a)} = 0,$$

$$|\alpha| \geq \alpha_{2,1}(a) = \frac{1}{2(1 + a)} \text{ при } a \in \left(-\frac{1}{2}, \infty\right\}.$$

Отметим, что при $a = -\frac{1}{2}, a = 0, a = \frac{1}{2}, a = 1$ $\tilde{\omega} = \hat{\omega}_{2;1;\alpha;\beta;a}(r)$ сводится к многочлену не выше третьей степени, поэтому в случае кубического уравнения можно применить тригонометрические формулы Кардана (см., например, [4, с. 447-454]).

Данное утверждение показывает ограниченность аналитических возможностей при определении дополнительных решений уравнения Ф. Д. Гахова для экстремальных функций из семейства $S_{n=2;\alpha;\beta;\Phi_{p=1,a;|\alpha|}(\zeta)}$ даже при частных значениях параметра $a = -\frac{1}{2}, a = 0, a = \frac{1}{2}, a = 1$ и напоминает соответствующие исследования [5] в подклассах звездообразных функций. Поэтому общий случай изменения $a \in (-1, \infty)$, тем более когда $n \geq 3$ требует численной реализации.

Список литературы

1. Микка, К.В. Об ограничениях функционала выпуклости в достаточных условиях единственности решения внешней обратной краевой задачи в постановке Ф.Д. Гахова / К.В. Микка, В.А. Кострова // Рукопись. – Йошкар-Ола, 2020. – 5 с.
2. Гахов, Ф.Д. Краевые задачи / Ф.Д. Гахов. – 3-е изд. – Москва: Наука, 1977. – 640 с.
3. Аксентьев, Л.А. Связь внешней обратной краевой задачи с внутренним радиусом области / Л.А. Аксентьев // Известия вузов. Математика. – 1984. – № 2. – С. 3-11.
4. Смирнов, В.И. Курс высшей математики. Т. 1 / В.И. Смирнов. – 24-е изд. – Москва: Наука, 2008. – 848 с.
5. Микка, В.П. О стационарных точках конформного радиуса спиралеобразных областей / В.П. Микка // Известия вузов. Математика. – 2004. – № 4. – С. 38-49.

ON ADDITIONAL SOLUTIONS OF THE F.D. GAKHOV FOR EXTREMAL FUNCTIONS IN THE CLASS WITH THE CONSTRAINTS OF THE CONVEXITY FUNCTIONAL a -STAR-SHAPED

*Mikka Konstantin Vasilyevich*¹, *Mikka Vasily Petrovich*²,
*Kostrova Veronika Aleksandrovna*²

¹ Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

² Mari State University, Yoshkar-Ola

The roots of the F.D. Gakhov equation, which arose as a condition for the closedness of the desired contour in the external inverse boundary value problem in the formulation of FD Gakhov, are explicitly included in the operator that determines the solution of it. Therefore, in order to construct these solutions explicitly, it is necessary to know all the roots of the F.D. Gakhov equation under the same boundary conditions. In this paper, explicit values of such roots are given when the convexity functional of convexity is subordinated to a -star-shaped extremal functions for $n = 2$.

Keywords: *F.D. Gakhov's equation; a -star-shaped extremal functions; Cardan's trigonometric formula.*

УДК 519.63

К ЗАДАЧЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ГОРЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА В ВОЗДУХЕ С ОБРАЗОВАНИЕМ ОКИСЛОВ АЗОТА И УГЛЕРОДА

Иванов Владимир Викторович, Кузьмина Ольга Валериановна

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

Предлагается замкнутая кинетическая схема химических реакций и математическая модель горения углеводородного топлива в воздухе с образованием окислов азота и углерода. Получена система дифференциальных уравнений, описывающая распределенный характер моделируемых процессов.

Ключевые слова: химическая кинетика, математическое моделирование, система дифференциальных уравнений в частных производных, процессы с распределенными параметрами.

Введение. Сжигание углеводородных топлив в воздухе реализуется в камере сгорания в виде химических реакций окисления и сопровождается образованием ряда промежуточных продуктов неполного сгорания, среди которых наиболее опасными являются окислы углерода CO и азота NO [3, 11].

Снижение уровня выбросов окислов CO и NO является актуальной задачей.

Интенсивность образования CO и NO определяется параметрами физико-химических и газодинамических процессов перемещения частиц потока топливно-воздушной смеси и продуктов сгорания, химической кинетикой реагирования ее компонентов в объеме камеры.

Объем выбросов зависит от различных факторов рабочего процесса камеры, под которым принято понимать совокупность сложных процессов смесеобразования, воспламенения, горения, теплообмена, кинетики химических реакций образования токсичных веществ и прочее. Совершенная организация рабочего процесса горения даст полное окисление топлива и продуктами реакции горения будут только молекулы CO_2 , H_2O , N_2 . При неполном окислении топлива продукты сгорания содержат различные загрязняющие вещества, в том числе CO и NO .

Отметим некоторые факторы, характеризующие совершенство организации рабочего процесса горения: время пребывания τ_{np} продуктов сгорания в объеме камеры; время полного сгорания топлива ($\tau_{cop} \cong 10^{-4}$ с); время реакции образования окислов ($\tau_{ор} \cong 10^{-2} \dots 10^{-3}$ с); распределение температуры процесса горения смеси как по амплитуде, так и по объему (оси) камеры сгорания, скорости потоков прямого и обратного течений газов; другие факторы. Эффективность сгорания топлива связывают со временем полного сгорания топлива τ_{cop} и временем пребывания τ_{np} продуктов сгорания в объеме камеры.

Как показывают экспериментальные исследования, скорость образования NO намного меньше скорости горения и основная масса NO образуется за фронтом пламени. Для уменьшения выбросов NO необходимо сокращение температуры в зоне горения и уменьшение времени пребывания продуктов сгорания в зоне высоких температур [3, 4, 5, 7, 10].

Одними из факторов, влияющих на уровень выбросов CO , также являются температура и время пребывания газа в камере. Увеличение температуры приводит к уменьшению выброса CO , а ее понижение – к сокращению скорости химических реакций, увеличению доли несгоревших компонентов топлива и в результате к увеличению выброса CO .

Такой противоположный характер изменения процессов образования окислов NO и CO подтверждается результатами экспериментальных исследований взаимозависимости уровней выбросов NO и CO [8]. По данным работы [10], одновременное снижение выбросов NO , CO возможно только в узком интервале температур 1600-1730 К, что указывает на необходимость принятия компромиссных решений, осуществляемых при организации и доводке рабочего процесса горения в камере.

Цель работы – разработать математическую модель нестационарного распределенного процесса горения топливно-воздушной смеси и процессов совместного образования и расходования окислов NO и CO .

Математическая модель горения топливно-воздушной смеси. При построении математической модели рабочего процесса горения принимается ряд упрощающих допущений [6, 13], моделирующих одномерный двухслойный поток газов в камере, его скорость, температуру, долю массы газов, участвующих в процессе рециркуляции, другие допущения. Математическая модель рабочего процесса камеры сгорания включает систему уравнений химической реакции расхода топлива и окислителя

$$\frac{\partial C_f(x,t)}{\partial t} + u \frac{\partial C_f(x,t)}{\partial x} = -W(x,t), \quad x \in (x_0, x_l],$$

$$\frac{\partial C_o(x,t)}{\partial t} + u \frac{\partial C_o(x,t)}{\partial x} = -W(x,t)L_{st}, \quad x \in (x_0, x_l]$$

и уравнение теплового баланса

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} + u \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} = \frac{H_0}{c_p} W(x,t) + q_z(x,t), \quad x \in (x_0, x_l],$$

$$q_z(x,t) = \frac{K_r K_l K_p K_c}{K_0 L_s} u (T(x_l, t) - T(x, t)), \quad x \in (x_0, x_s].$$

При исследовании процессов горения скорость химической реакции вычисляется по формуле Аррениуса

$$W(x,t) = K_w C_f^v(x,t) T^{0.5}(x,t) \exp\left(-\frac{E_A}{RT(x,t)}\right), \quad x \in (x_0, x_l].$$

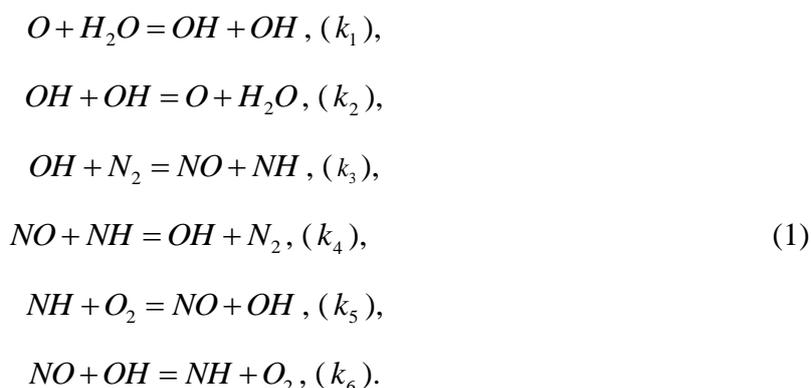
Здесь обозначено: $C_f(x,t)$, $C_o(x,t)$ – концентрации топлива и окислителя; $T(x,t)$ – температура; $W(x,t)$ – скорость химической реакции; T_0 – температура воздуха;

$q_z(x, t)$ – количество тепла, возвращаемое в зону смешения; $W(x, t)$ – скорость химической реакции по закону Аррениуса; K_w – константа скорости реакции; E_A – энергия активации; R – универсальная газовая постоянная; ν – суммарный порядок химической реакции; x – абсцисса точки оси камеры; t – время.

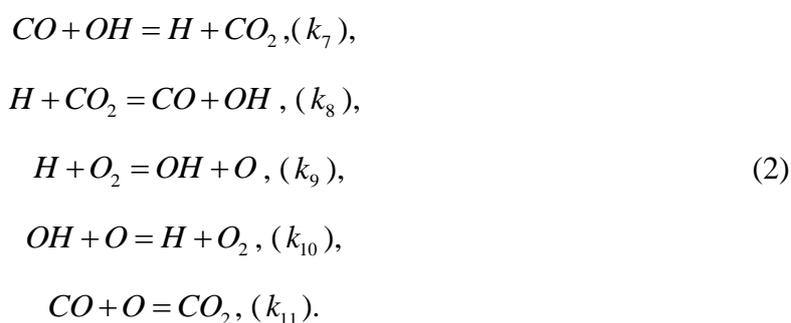
Полученная система представляет математическую модель рабочего процесса камеры сгорания. Искомыми в ней являются функции $C_f(x, t)$, $C_o(x, t)$, $T(x, t)$, $W(x, t)$.

Кинетические схемы и математические модели образования и расходования окислов NO, CO. Общепринято, что основным кинетическим механизмом образования NO является предложенный Я.Б. Зельдовичем «термический» механизм [4]. В ряде работ данные реакции дополняются реакцией $N + OH = NO + H$ [1, 2, 5, 14].

Вторым механизмом является механизм образования NO через гидроксильные радикалы OH и радикалы NH , который дополняет обобщенный механизм Я.Б. Зельдовича [4, с. 96, 15]. При записи математической модели образования NO будем использовать следующую кинетическую схему:



Механизм реакции образования окиси углерода CO и догорания ее в углекислый газ CO_2 впервые предложен Н. Н. Семеновым и Я. Б. Зельдовичем (1940 г.) и исследован в дальнейшем в работах многих авторов [9] и др. Реакции протекают по схеме



Здесь k_i , $i = 1, 2, \dots, 10$ – скорости прямых и обратных реакций. Последняя реакция в схеме (2) считается необратимой. Применим к схемам (1) и (2) методику, представленную в работе [12], и запишем систему дифференциальных уравнений, описывающую кинетику образования и расходования окислов NO и CO :

$$\frac{\partial C_O}{\partial t} + u \frac{\partial C_O}{\partial x} = -k_1 C_O C_{H_2O} + 2k_2 C_{OH} C_{OH} + k_9 C_H C_{O_2} - k_{11} C_{CO} C_O - k_{10} C_{OH} C_O,$$

$$\frac{\partial C_{NO}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{NO}}{\partial x} = k_3 C_{OH} C_{N_2} + k_5 C_{NH} C_{O_2} - k_4 C_{NO} C_{NH} - k_6 C_{NO} C_{OH},$$

$$\frac{\partial C_{O_2}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{O_2}}{\partial x} = -k_5 C_{NH} C_{O_2} + k_6 C_{NO} C_{OH} + k_{10} C_{HO} C_O - k_9 C_H C_{O_2},$$

$$\frac{\partial C_{N_2}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{N_2}}{\partial x} = -k_3 C_{OH} C_{N_2} + k_4 C_{NO} C_{NH},$$

$$\frac{\partial C_{H_2O}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{H_2O}}{\partial x} = -k_1 C_O C_{H_2O} + 2k_2 C_{OH} C_{OH},$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_{OH}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{OH}}{\partial x} = & 2k_1 C_O C_{H_2O} - 2k_2 C_{OH} C_{OH} - k_3 C_{OH} C_{N_2} + \\ & + k_4 C_{NO} C_{NH} + k_5 C_{NH} C_{O_2} - k_6 C_{NO} C_{OH} + \\ & + k_8 C_H C_{CO_2} + k_9 C_H C_{O_2} - k_7 C_{CO} C_{OH} - k_{10} C_{OH} C_O, \end{aligned}$$

$$\frac{\partial C_{NH}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{NH}}{\partial x} = k_3 C_{OH} C_{N_2} - k_4 C_{NO} C_{NH} - k_5 C_{NH} C_{O_2} + k_6 C_{NO} C_{OH},$$

$$\frac{\partial C_H}{\partial t} + u \frac{\partial C_H}{\partial x} = k_7 C_{CO} C_{OH} - k_8 C_H C_{CO_2} + k_{10} C_{HO} C_O - k_9 C_H C_{O_2},$$

$$\frac{\partial C_{CO}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{CO}}{\partial x} = k_8 C_H C_{CO_2} - k_7 C_{CO} C_{OH} - k_{11} C_{CO} C_O,$$

$$\frac{\partial C_{CO_2}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{CO_2}}{\partial x} = k_7 C_{CO} C_{OH} + k_{11} C_{CO} C_O - k_8 C_H C_{CO_2}.$$

Система описывает изменение переменных $C_O(x,t)$, $C_{NO}(x,t)$, $C_{O_2}(x,t)$, $C_{N_2}(x,t)$, $C_{H_2O}(x,t)$, $C_{OH}(x,t)$, $C_{NH}(x,t)$, $C_H(x,t)$, $C_{CO}(x,t)$, $C_{CO_2}(x,t)$.

Выводы. В работе обсуждается химическая кинетика образования окислов NO и CO , устанавливаются взаимозависимость и противоречивость протекания данных процессов, существенная зависимость их от основных параметров рабочего процесса.

На основании обзора литературы представлена сокращенная замкнутая кинетическая схема химических реакций, которая учитывает, по мнению авторов [2-4, 9, 14, 15], наиболее значимые реакции, участвующие в процессах образования и исчезновения NO и CO .

Полученная система дифференциальных уравнений описывает распределенный характер химических процессов, позволяет моделировать взаимосвязи процессов образования NO и CO , находить их возможные компромиссные варианты реализации, эффективно выбирать значения важнейших параметров рабочего процесса камеры.

Список литературы

1. Боумен, К.Т. Кинетика образования и разложения загрязняющих веществ при горении / К.Т. Боумен // Образование и разложение загрязняющих веществ в пламени: пер. с англ. / ред. Н.А. Чигир. – Москва: Машиностроение, 1981. – 407 с.
2. Варнатц, Ю. Горение, физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ / Ю. Варнатц, У. Маас, Р. Диббл; пер. с англ. Г.Л. Агафонова; под ред. П.А. Власова. – Москва: Физматлит, 2003. – 352 с.
3. Дрегаллин, А.Ф. Общие методы теории высокотемпературных процессов в тепловых двигателях / А.Ф. Дрегаллин, А.С. Черенков. – Москва: Янус-К, 1997. – 328 с.
4. Зельдович, Я.Б. Окисление азота при горении / Я.Б. Зельдович, П.Я. Садовников, Д.А. Франк-Каменецкий. – Москва: Изд-во АН СССР, 1947. – 145 с.
5. Новые технологии сжигания природного газа для экологически чистой энергетики / А.А. Иванов и др. // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2007. – № 5. – С. 115–124.
6. Иванов, В.В. К вопросу моделирования рабочего процесса камеры сгорания с учетом образования термического оксида азота / В.В. Иванов, О.В. Кузьмина // Обзорные прикладной промышленной математики. – 2010. – Т. 17, вып. 1. – С. 112–113.
7. Канило, П.М. Токсичность ГТД и перспективы применения водорода / П.М. Канило. – Киев: Наукова думка, 1982. – 140 с.
8. Канило, П.М. Энергетические и экологические характеристики ГТД при использовании углеродных топлив и водорода / П.М. Канило, А.Н. Подгорный, В.А. Христинич. – Киев: Наукова думка, 1987. – 224 с. – (Наука и технический прогресс).
9. Лавров, Н.В. Физико-химические основы процессов горения топлив / Н.В. Лавров. – Москва: Наука, 1971. – 272 с.
10. Лефевр, А. Процессы в камерах сгорания ГТД: пер. с англ. / А. Лефевр. – Москва: Мир, 1986. – 566 с.
11. Лоскутов, А.С. Экология двигателей внутреннего сгорания: учебное пособие / А.С. Лоскутов, Д.В. Кожин, А.И. Павлов. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2011. – 180 с.
12. Применение вычислительной математики в химической и физической кинетике / под ред. Л.С. Полака. – Москва: Наука, 1969. – 279 с.
13. Сиразетдинов, Т.К. Моделирование, синтез и устойчивость процессов в камере сгорания газотурбинных двигателей и энергетических установок: научное издание / Т.К. Сиразетдинов, В.В. Иванов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004. – 243 с.
14. Туф, (Тоof J.L.) Модель расчета выбросов воздушных, быстрых и топливных окислов азота из газотурбинных установок / Туф // Энергетические машины. – 1986. – № 2. – С. 91–101.
15. Химия горения: пер. с англ. / под ред. У. Гардинера, мл. – Москва: Мир, 1988. – 464 с.

**ON THE PROBLEM OF MODELING
THE DYNAMICS OF COMBUSTION OF HYDROCARBON FUEL IN AIR WITH THE FORMATION
OF NITROGEN AND CARBON OXIDES GORENJE**

Ivanov Vladimir Viktorovich, Kuzmina Olga Valerianovna

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola

A closed kinetic scheme of chemical reactions and a mathematical model of combustion of hydrocarbon fuel in air with the formation of nitrogen and carbon oxides are proposed. A system of differential equations is obtained that describes the distributed nature of the simulated processes.

Keywords: *chemical kinetics; mathematical modeling; system of partial differential equations; processes with distributed parameters.*

Сведения об авторах

АКТУГАНОВ Анатолий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения

АКТУГАНОВ Олег Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения

АНДРИАНОВ Денис Юрьевич – студент Российского государственного университета нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина

АНДРИАНОВ Юрий Семенович – кандидат технических наук, доцент кафедры менеджмента и бизнеса

БАСТРАКОВ Валентин Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения и материаловедения

БЕЛАВИН Максим Владимирович – студент ПГТУ

БЕЛЬГИБАЕВ Руслан Рашидович – кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники и связи

БУСЫГИН Георгий Валентинович – старший преподаватель кафедры проектирования и производства ЭВС

ВАЙНШТЕЙН Виктор Мейлехович – кандидат технических наук, зав. кафедрой строительных технологий и автомобильных дорог

ВЕРШИННИН Сергей Эдуардович – студент ПГТУ

ВОЙТКО Петр Филиппович – доктор технических наук, профессор кафедры лесопромышленных и химических технологий

ГАЛЕЕВ Султан Хафизьянович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации машин и оборудования

ДОЛГОПОЛОВ Константин Александрович – студент ПГТУ

ЖАРКОВА Мария Владиславовна – специалист по кадрам факультета информатики и вычислительной техники, магистрант ПГТУ

ИВАНОВ Александр Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности

КАРПОВ Алексей Александрович – аспирант ПГТУ

КОСТРОВА Вероника Александровна – аспирант МарГУ

КОТЛОВ Виталий Геннадьевич – кандидат технических наук, директор Института строительства и архитектуры

КУДРЯВЦЕВ Игорь Аркадьевич – начальник СКБ ПГТУ

КУЗНЕЦОВА Юлия Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения

ЛАВРЕНТЬЕВ Борис Федорович – кандидат технических наук, профессор-консультант кафедры проектирования и производства ЭВС

МИККА Константин Васильевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий

МИККА Василий Петрович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математического анализа и теории функций, Марийский государственный университет

МИХАДАРОВА Ольга Васильевна – старший преподаватель кафедры высшей математики

МУРТАЗИН Рустам Шамильевич – аспирант ПГТУ

ОЛЕХОВ Максим Владиславович – аспирант ПГТУ

РОЩИНА Марина Михайловна – начальник сектора аспирантуры и докторантуры

РУДОМЁТКИН Данил Леонидович – ведущий инженер группы ремонтов ОТС ЙТЭЦ-2

ТАРАСОВА Ольга Германовна – кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации, сертификации и товароведения

САФИУЛЛИНА Яна Михайловна – студент ПГТУ

ПУГАЧЕВА Татьяна Николаевна – аспирант ПГТУ

ПОЗДЕЕВ Анатолий Геннадиевич – доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций и водоснабжения

ПОЗДЕЕВ Виктор Михайлович – кандидат технических наук, зав. кафедрой строительных конструкций и водоснабжения

СОЛОВЬЁВ Николай Павлович – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций и водоснабжения

ИВАНОВ Владимир Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий

КУЗЬМИНА Ольга Валериановна – преподаватель кафедры прикладной математики и информационных технологий

ШКУРОВ Николай Владимирович – инженер СКБ ПГТУ

ЧЕКУЛАЕВА Елена Николаевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры информационной безопасности

ЧЕРНЯДЬЕВ Андрей Владимирович – аспирант ПГТУ

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
-------------------	---

ЛЕС, ЭКОЛОГИЯ, ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Иванов А. В.

Влияние рубок ухода на формирование естественных елово-лиственных молодняков после пожаров 1972 года в ельнике мелкоствольном	5
--	---

Рощина М. М., Войтко П. Ф.

Имитационное моделирование процесса формирования лесных грузов гравитационным торцевывравнивателем на лесопромышленных предприятиях с рейдами приплава	14
--	----

Карпов А. А., Тарасова О. Г.

Обеспечение достоверности результатов межлабораторных сличительных испытаний в период пандемии COVID-19	21
--	----

ТРАНСПОРТ. ЭНЕРГЕТИКА. МАШИНОСТРОЕНИЕ

Галеев С. Х., Муртазин Р. Ш., Белавин М. В.

Выбор схемы работы машины для удаления снежно-ледяного покрова	27
--	----

Галеев С. Х., Муртазин Р. Ш., Белавин М. В.

Обоснование выбора методов удаления снежно-ледяного покрова с проезжей части	31
--	----

Галеев С. Х., Муртазин Р. Ш.

О совершенствовании рабочих органов инструмента для горизонтального направленного бурения	36
--	----

Кудрявцев И. А., Шкуров Н. В., Андрианов Ю. С., Андрианов Д. Ю.

Определение технических параметров беспилотной транспортной платформы со смещаемым центром тяжести с применением разработанной установки	43
---	----

Рудомёткин Д. Л., Бастраков В. М.

Повышение эффективности работы ТЭЦ посредством использования тепловыми насосами низкопотенциальной тепловой энергии вторичных энергоресурсов	48
---	----

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ И МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Бельгибаев Р. Р., Михадарова О. В., Олехов М. В., Чернядьев А. В.

Определение доступности радиоканалов с полосами от 3 до 24 кГц в диапазоне частот 3-28 МГц	55
---	----

Лаврентьев Б. Ф.

Серебряная вода для медицины и приборы и установки для её получения	60
---	----

Лаврентьев Б. Ф., Бусыгин Г. В., Долгополов К. А., Сафиуллина Я. М.

Система управления информационными робототехническими конструкциями с использованием блоков видеоняни	72
--	----

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

Жаркова М. В., Чекулаева Е. Н.

Основные способы утечки и защиты информации во время удалённой работы в пандемию COVID-19 80

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Актуганов А. Н., Котлов В. Г., Пугачева Т. Н.

Влияние температуры и влажности на нагельное соединение деревянных каркасов многоэтажных зданий 86

Актуганов А. Н., Актуганов О. А.

Численные исследования работы тонкостенной металлодеревянной балки 92

Вайништейн В. М., Вершинин С. Э.

Исследование изменения прочности дорожной одежды в зависимости от нагрузки на ось и удельного давления на покрытие 97

Вайништейн В. М.

Исследование расчетной влажности и механических характеристик глинистых грунтов (по материалам изысканий в Новоторъяльском районе Республики Марий Эл для проектирования дорожных одежд) 101

Поздеев А. Г., Кузнецова Ю. А.

Автоматизация расчетов кольцевых водопроводных сетей 107

Поздеев А. Г., Кузнецова Ю. А.

Автоматизированная методика расчета наплавных сооружений запани на канатных опорах 113

Поздеев В. М.

Актуализация нормативных документов по испытанию железобетонных конструкций 119

Соловьёв Н. П.

Диаграмма деформирования бетона 125

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ. ИНЖЕНЕРИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Микка К. В., Микка В. П., Кострова В. А.

О дополнительных решениях уравнения Ф. Д. Гахова для экстремальных в классе функций с ограничениями функционала выпуклости α -звездообразными 131

Иванов В. В., Кузьмина О. В.

К задаче моделирования динамики горения углеводородного топлива в воздухе с образованием окислов азота и углерода 135

Сведения об авторах 140

Научное издание

ТРУДЫ Поволжского государственного технологического университета



ВЫПУСК 9

Серия Технологическая

Ответственный за выпуск

Е. С. Шарапов

Редакторы

Л. С. Емельянова, П. Г. Павловская

Компьютерная верстка

С. Н. Эштыкова

Дизайн обложки

О. В. Долгирева

Переводы на английский язык предоставлены
авторами статей

Подписано в печать 23.12.2021. Формат 60×84 ¹/₈. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 16,97. Тираж 500 экз. Заказ № 10849/21.

Поволжский государственный технологический университет
424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано с готового оригинал-макета в ООО «Принтекс»
Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, бул. Победы, 14, пом. III

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). Все выпуски оперативно отражаются на сайте Научной электронной библиотеки (НЭБ). Сборник включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Публикуем результаты оригинальных авторских исследований (ранее нигде не печатавшихся и не переданных в другие редакции) по следующим направлениям:

- серия Технологическая (физико-математические науки; радиотехнические инфокоммуникационные и медико-биологические системы; лес, экология, природопользование; транспорт, энергетика, машиностроение; технологии и оборудование лесопромышленных и деревообрабатывающих производств; строительство и архитектура; биологические и естественные науки, инженерия окружающей среды);
- серия Социально-экономическая (экономика, управление и право, философия, культурология, педагогика, психология, история, социология, политология и др.).

Требования к оригиналам предоставляемых работ

Основные требования к содержанию статей: актуальность, научная новизна, практическая значимость.

Структура научной статьи:

- Ф.И.О. авторов (с указанием места работы, должности, ученой степени, звания).
- Заголовок (наименование публикации).
- Аннотация (3-4 предложения, 50-100 слов).
- Ключевые слова или словосочетания (5-10 слов).

Желательно наличие в статье следующих рубрик:

- Введение (оценка состояния вопроса, основанная на обзоре литературы с мотивацией актуальности; выявленное противоречие, позволяющее сформулировать проблемную ситуацию).
- Цель работы, направленная на преодоление проблемной ситуации.
- Решаемые задачи, способствующие достижению цели.
- Математическое, аналитическое или иное моделирование.
- Техника эксперимента и методика обработки или изложение иных полученных результатов.
- Интерпретация результатов или их анализ.
- Выводы, отражающие новизну полученных результатов, показывающие, что цель, поставленная в работе, достигнута.
- Список используемой литературы.
- Сведения об авторах, название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке (авторы должны обеспечить аутентичный перевод).

Требования к оформлению статьи:

Статья должна быть представлена в электронном варианте и распечатанном виде.

- ✓ Объем статьи – 5 страниц формата А4 (до конца заполненных);
- ✓ основной шрифт – 12 пт Times New Roman; межстрочный интервал – одинарный;
- ✓ поля: внутри – 2 см, верхнее, нижнее, снаружи – 3 см;
- ✓ отступы в начале абзаца – 0,75 см;
- ✓ УДК оформляется в левом углу листа, светлым шрифтом, без отступа;

- ✓ нумерация страниц – внизу по центру, 12 пт;
- ✓ **НАЗВАНИЕ** статьи печатается по центру, прописными буквами, полужирным прямым шрифтом (Times New Roman, 12 пт);
- ✓ **Фамилия, Имя и Отчество авторов** (полностью) должны быть напечатаны по центру жирным курсивом, 12 пт;
- ✓ место работы, страна, город – шрифт 10 пт светлый прямой;
- ✓ электронный адрес одного из авторов – шрифт 10 пт;
- ✓ аннотация и ключевые слова – шрифт 11 пт, светлый курсив;
- ✓ основной текст статьи – с отступом в один интервал после аннотации. Выравнивание текста – по ширине; переносы ставятся автоматически. Выделения в тексте выполняются светлым курсивом;
- ✓ **заголовки рубрик** выделяются полужирным шрифтом;
- ✓ таблицы, рисунки, графики (печатаются только в черно-белом исполнении, цветные иллюстрации доступны лишь в электронной версии сборника) должны иметь нумерационный и тематический заголовки (размер шрифта 10 пт, заголовки **полужирным**, по центру); таблицы и рисунки следует по возможности вставлять в текст после абзацев, содержащих ссылку на них; размеры иллюстраций не должны превышать размеров текстового поля (не более 15 см);
- ✓ после списка литературы – сведения об авторах, название статьи, аннотация и ключевые слова – на *английском языке*, шрифт 10 пт;
- ✓ *список литературы*: заголовков – строчными курсивом шрифт 11 пт, список – прямым, шрифт 11 пт;
- ✓ ссылки на литературу в тексте даются в квадратных скобках, литература оформляется согласно ГОСТ Р 7.05-2008; количество источников – не более 10; обязательны ссылки на работы, опубликованные в последние 5-10 лет; необходимо использовать ссылки на «Вестник ПГТУ» (самоцитируемость при этом должна быть минимальной); ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Статьи проходят редакционно-издательскую обработку. При необходимости принципиальных изменений правка согласовывается с автором.

Надеемся на взаимноинтересное сотрудничество.

*Департамент научного и академического развития
Поволжского государственного технологического университета*

424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина 3, ПГТУ, ауд. 423(1), т. 68-60-62, e-mail:
patent@volgatech.net