

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

Научно-технический журнал

№2 2022



УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ, ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОГО И ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА

МЕХАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЭКОЛОГИЧЕСКИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ, МАТЕРИАЛАХ И ИЗДЕЛИЯХ

Научно-технический журнал

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

ISSN 2618-9054

Журнал издается с 2010 года

Учредитель и издатель: Воронежский государственный технический университет (ВГТУ)

Территория распространения – Российская Федерация

Тип издания – **Online** – www.ttmko.ru

Журнал публикует материалы по следующим разделам:

- **УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ**
- **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ**
- **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ**
- **АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО**
- **ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ, ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ**
- **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОГО И ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА**
- **МЕХАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ**
- **СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ**
- **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЭКОЛОГИЧЕСКИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ**
- **ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ, МАТЕРИАЛАХ И ИЗДЕЛИЯХ**

Материалы журнала публикуются в авторской редакции и регистрируются
в Российском индексе научного цитирования

Ответственность за достоверность опубликованных в статьях сведений несут авторы

Перепечатка материалов журнала допускается только с разрешения редакции

Научно-технический журнал «Высокие технологии в строительном комплексе» выходит 2 раза в год (май, декабрь)

Научно-технический журнал. Высокие технологии в строительном комплексе, все права защищены

Scientific-and-Technical Journal

HIGH TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION COMPLEX

ISSN 2618-9054

The Journal has been published since 2010

Founder and publisher: Voronezh State Technical University (VSTU)

Territory of distribution - the Russian Federation

Type of publication – **Online** – **www.ttmko.ru**

The journal publishes materials on the followingsubjects:

- **PRODUCTION MANAGEMENT**
- **ENERGY SAVING TECHNOLOGIES**
- **BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS**
- **ARCHITECTURE OF BUILDINGS AND URBAN PLANNING**
- **WATER SUPPLY, WATER DRAINING, HEAT SUPPLY AND VENTILATION**
- **ECOLOGICAL PROBLEMS OF THE CONSTRUCTION AND ROAD COMPLEX**
- **MECHANIZATION OF CONSTRUCTION, BUILDING MACHINES AND MECHANISMS**
- **BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND STRUCTURES, BASISES AND FOUNDATIONS**
- **LIFE SAFETY IN ENVIRONMENTALLY ADVERSE CONDITIONS**
- **PHISICALAND CHEMICAL PROCESSESIN ENVIROMENTS, MATERIALS AND PRODUCTS**

The Journal materials are published in the author's edition and registered
in the Russian scientific citation index

Responsibility for the reliability of the information published in the papers is on the authors

Reprinting of Journal materials is allowed only with the permission of the editorial staff

Scientific-and-Technical Journal «High Technologies in Construction Complex» is published twice a year (May, December)

Scientific-and-Technical Journal. High Technologies in Construction complex. All rights reserved

Научно-технический журнал

ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

Главный редактор – д-р техн. наук, проф. В.А. Жулай

Зам. главного редактора – д-р техн. наук, проф. Ю.Ф. Устинов

Ответственный секретарь – канд. техн. наук., доц. А.Н. Щиенко

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Д-р техн. наук, проф. В.П. Подольский (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. Т.В. Самодурова (г. Воронеж, ВГТУ); канд. техн. наук., доц. Н.М. Волков (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. О.И. Поливаев (г. Воронеж, ВГАУ); канд. техн. наук., проф. Ю.М. Пурусов (г. Воронеж, ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»); д-р техн. наук, проф. В.А. Зорин (г. Москва, МАДИ); д-р техн. наук, проф. А.А. Романович (г. Белгород, БГТУ); д-р техн. наук, проф. Б.А. Бондарев (г. Липецк, ЛГТУ)

АДРЕС РЕДАКЦИИ: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84.

Тел.: +7(473) 277-01-29, E-mail: stim@vgasu.vrn.ru

© Воронежский
государственный
технический
университет, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ

Понявина Н.А., Мещерякова М.А., Ткаченко А.Н., Потехин И.А. Обзор перспектив роботизации строительного производства	7
--	---

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Волков С.Н., Селезнева В.Н., Габриелян М.А. Новые технологии в 3D-моделировании и их применение в строительстве	13
Романович М.А., Агафонов Д.С., Искренюк А.Г. Исследование вопроса путей снижения энергопотребления агрегата в процессе дробления.....	18

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Быстров К.А., Гамаюнова О.С. Инновационные строительные материалы	24
Еремин А.В., Волокитин В.П., Дронов Н.В. Моделирование пролетного строения в программном комплексе Midas Civil.....	35
Хадж Хамди К.В., Усачев А.М. Исследование рынка теплоизоляционных и акустических строительных материалов в Сирийской Арабской Республике.....	39

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

Лобанов Д.В., Мерциев А.А., Звенигородский И.И., Сафонов С.А. Обследование здания лаборатории с рекомендациями по его дальнейшей эксплуатации	44
Строганова Т.Б. Парадигма и программа формирования вектора устойчивого развития сельских территорий.....	51

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ, ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ

Мерциев А.А., Лобанов Д.В., Аносов С.В., Борх М.С. Анализ технического состояния оборудования вентиляционных систем литейного цеха.....	56
--	----

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОГО И ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА

Волокитина О.А., Еремин А.В., Волокитина А.В., Габриелян М.А. Решение проблемы экологической безопасности автомобильных дорог за счет применения побочных продуктов металлургической промышленности	60
--	----

МЕХАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

Ворошилов В.Ю., Жилин Р.А. Перспективы применения роторно-поршневых двигателей.....	65
Григорьев П.А., Неклюдов А.Н., Трошко И.В. Реверс-инжиниринг деталей наземных транспортно-технологических средств с применением методов 3D сканирования	69
Григорьев П.А., Неклюдов А.Н. Современные технологии 3D печати для импортозамещения деталей наземных транспортных средств.....	73
Жилин Р.А., Картавцев Г.М., Ходцев В.С. Перспективы применения двигателя Стирлинга	77
Жилин Р.А., Мальцев А.И. Сменное навесное оборудование для монтажа крупногабаритных шин к фронтальному погрузчику ЧТЗ ПК-65	82
Жилин Р.А., Свеженцев Д.Я. Буровое оборудование к малогабаритному погрузчику	85
Жулай В.А., Тюнин В.Л., Кожакин Е.В., Осипов А.А. Анализ методик диагностики зубчатых передач	88
Нилов В.А., Федоров Е.В., Кулешов М.Р., Нырков В.А. Исследование напряженно-деформированного состояния металлоконструкции рукояти гидравлического экскаватора.....	91
Редькин А.В., Поляков Д.С. Автоматизированный комплекс управления устойчивостью стреловых самоходных кранов	96
Чалова М.Ю., Головачева М.Р. Оценка надежности полувагона снегоуборочной машины СМ-2.....	100
Чалова М.Ю., Земсков А.В., Красных С.Ю. Щебнеочистительные машины для работы на стрелочных переводах	103
Чалова М.Ю., Сафонов Е.С. Рациональные параметры работы модернизированного щебнеочистительного комплекса ЩОМ-1400 на стрелочных переводах.....	106

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

Волков Н.М., Волков С.Н., Селезнева В.Н. Исследование устройства систем монолитных конструкций с использованием несъемной опалубки	110
Гридасов А.П., Курсков В.А., Костров З.Ю., Пикалов И.С., Ткачев Н.Н., Кондауров С.Ю., Кочергин А.В. Опыт применения Tekla Structures при разработке документации для основных производственных мощностей нефтехимических производств на примере установки пиролиза	115
Еремин А.В., Волокитин В.П., Абрамов Ф.М. Использование композитных материалов для увеличения грузоподъемности балок пролетных строений мостовых сооружений	125
Жабцев А.В., Строкин А.С., Тюков Е.Б. Повышение устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колеи на автодорожных мостах	131
Шашков А.Ф., Гамаюнова О.С. Инновационные методы обследования зданий и сооружений.....	136

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЭКОЛОГИЧЕСКИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ

Еремин А.В., Абрамов Ф.М., Корнилов Е.В. Анализ протяженности тормозного пути летних и зимних шин при отрицательных температурах и различных погодных условиях	147
Никитин С.А., Щиенко А.Н., Наумов О.Е., Снегирева О.М. Методика аналитической оценки уровня шума в кабине технологической машины.....	151

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ, МАТЕРИАЛАХ И ИЗДЕЛИЯХ

Алшахван А. Влияние климатического старения на механические свойства теплого асфальтобетона в условиях Сирийской Арабской Республики	157
Бурцева А.А. Термообработка как метод повышения прочности ответственных элементов подвижного состава железнодорожного транспорта.....	161
Габриелян Г.Е., Волокитина А.В., Габриелян М.А., Макаренкова Ю.А., Волков М.В. Вероятностный анализ напряженно-деформированного состояния точки упругой полуплоскости при действии случайной сосредоточенной силы	167
Романович М.А., Агафонов Д.С., Искренюк А.Г. Исследование процесса дезинтеграции в пресс-валковом измельчителе анизотропных материалов разрушения давлением	172

УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ

УДК 658.5

*Воронежский государственный
технический университет
Канд. техн. наук, доц. кафедры технологии,
организации строительства, экспертизы и
управления недвижимостью,
Н.А. Понявина*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-71-53-62
e-mail: ponyavochka@vgasu.vrn.ru*

*Воронежский государственный
технический университет
Докт. экон. наук, проф. кафедры техноло-
гии, организации строительства, экспер-
тизы и управления недвижимостью,
М.А. Мещерякова*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-71-53-62,
e-mail: mescherayakovama@vgasu.vrn.ru*

*Воронежский государственный
технический университет
Канд. техн. наук, доц. кафедры технологии,
организации строительства, экспертизы и
управления недвижимостью, А.Н. Ткаченко*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-71-53-62
e-mail: tkachenkoan@vgasu.vrn.ru*

*Воронежский государственный
технический университет
Канд. экон. наук, менеджер Инновационно-
го бизнес-инкубатора им. Ю.М. Борисова,
И.А. Потехин*

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-71-53-62
e-mail: potekhin_300587@mail.ru*

*Voronezh State
Technical University
Cand. of Tech. Sci., Associate Professor of the
Department of Technology, Organization of
Construction, Expertise and Real Estate
Management, N.A. Ponyavina*

*Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-71-53-62
e-mail: ponyavochka@vgasu.vrn.ru*

*Voronezh State
Technical University,
Doct. of Econom., Professor of the Depart-
ment of Technology, Organization of Con-
struction, Expertise and Real Estate Man-
agement, M.A. Meshcheryakova*

*Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-71-53-62
e-mail: mescherayakovama@vgasu.vrn.ru*

*Voronezh State Technical University
Cand. of Tech. Sci., Associate Professor of the
Department of Technology, Organization of
Construction, Expertise and Real Estate
Management, A.N. Tkachenko*

*Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-71-53-62
e-mail: tkachenkoan@vgasu.vrn.ru*

*Voronezh State
Technical University
Cand. of Econom. Sci., Manager of the Inno-
vative Business Incubator named after Yu.M.
Borisov, I.A. Potekhin*

*Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-71-53-62
e-mail: potekhin_300587@mail.ru*

Н.А. Понявина, М.А. Мещерякова, А.Н. Ткаченко, И.А. Потехин

ОБЗОР ПЕРСПЕКТИВ РОБОТИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

При ведении строительного производства прорабы сталкиваются с необходимостью выполнить большие объемы монотонных и опасных работ, которые требуют высокой квалификации и оплаты труда. Однако на рынке труда наблюдается дефицит работников. Общие тенденции экономики приводят к необходимости использования роботов на отдельных технологических процессах возведения зданий и сооружений. Проанализируем перспективы применения роботов в ближайшей перспективе.

Ключевые слова: роботизация строительной площадки, безопасность, перспективы, анализ возможностей, повышение эффективности.

OVERVIEW OF THE PROSPECTS OF ROBOTIZATION OF CONSTRUCTION PRODUCTION

When conducting construction production, foremen are faced with the need to perform large volumes of monotonous and dangerous work that require high qualifications and remuneration. However, there is a shortage of workers in the labor market. General economic trends lead to the need to use robots in certain technological processes of the construction of buildings and structures. Let's analyze the prospects of using robots in the near future.

Keywords: robotization of the construction site, safety, prospects, analysis of opportunities, efficiency improvement.

В настоящее время в строительной отрасли России уже есть примеры применения робототехнических комплексов [5, 6, 7, 8, 9, 10]. Наиболее распространенными являются малые роботы для демонтажа, которые применяются в том числе при спасательных мероприятиях, 3д принтеры для печати бетоном, роботы для захвата стеклянных оконных изделий (рис. 1). Также на данном рисунке приведены роботы для ведения каменной кладки, для установки арматуры в монолитные бетонные конструкции, робот для бетонирования и робот-монтажный кран. Согласно классификации техники по степени автоматизации [2], к роботам относятся такие системы, которые позволяют заменить ручной труд полностью, даже исключая принятие оперативных решений человеком во время исполнения технологической операции. Роботами на данном рисунке не являются – стреловой кран с дистанционным управлением, робот для демонтажа, робот для захвата и манипуляций стеклянных листов. Управление данными машинами ведется непосредственно человеком, хотя и дистанционно. Полностью роботизированным можно назвать только робота для каменных кладочных работ, так как известно, что целью данной машины является полностью автономная работа, а не только избавление каменщика от физического труда.



Рис. 1. Примеры существующей робототехники на строительном производстве [5, 6, 7, 8, 9, 10]

На сегодняшний день, применение робототехнических комплексов в строительном производстве продиктовано не одним, а несколькими факторами (таблица 1). Некоторые из факторов признают применение строительной робототехники необоснованным или неэффективным. С другой стороны можно рассмотреть реализацию этих факторов, как формирование компетенций с робототехникой на перспективу. Другие факторы действительно являются важной причиной использования робототехники в строительстве и поэтому в тех процессах ее применение уже не вызывает удивления.

Таблица 1

Факторы роботизации строительного производства

Фактор	Реализация фактора роботизации строительного производства
Целесообразность, необходимость	1.Роботы на специальных строительных работах, таких как ремонт, монтаж и демонтаж футеровки промышленных печей, монтаж кислотоупорной футеровки промышленных ванн 2.Роботы для «инженерных войск» и спасательных служб, имеющие двойное назначение – демонтаж конструкций, сверление, резка конструкций и выполнение разминирования или обнаружения пострадавших 3.Роботы-манипуляторы на АЭС в реакторных зонах
Следование мировым отраслевым тенденциям (добровольное)	Роботы для геодезических работ (на базе летательных аппаратов вертолетного и самолетного типа) Роботы для демонтажа Роботы для манипуляций со стеклянными листами
Следование мировым отраслевым тенденциям (директивное)	Роботы-каменщики и роботы-штукатуры Роботы для 3Д печати бетоном Роботы для раздачи бетона Дистанционное управление существующей тяжелой строительной техникой, которой традиционно управлял машинист (краны, экскаваторы, бульдозеры)
Степень роботизации (отстранения человека от принятия оперативных решений)	Полностью автономные комплексы: - для выполнения массовых простых технологических процессов строго по регламенту, контролируемых из одного центра принятия решений. Комплексы с дистанционным управлением: - крупная строительная техника (для того, чтобы обеспечить безопасность персонала во время выполнения работ. Например при демонтаже на высоте или в условиях химически агрессивной среды) Электронные помощники для машинистов строительных машин (для обеспечения более точной и быстрой технологической операции): - измерители расстояний до строительных элементов и нагрузок машин во время работы с ними; - сигнализаторы опасностей в зоне работы машины; - помощники-ограничители и доводчики рабочих органов строительных машин.

Ряд факторов требуют появления роботизированной техники в отдельных строительных процессах. В этих процессах имеется дефицит производительных сил, что тормозит важные строительные или ремонтные проекты. Одним из них является травматизм на строительных площадках, статистика которого приведена в таблице 2.

Таблица 2

Статистика травм на строительном производстве [1]

№	Виды аварий	В 2021 году						2021 и 2020 в % отношении по среднемесячным показателям					
		Строители			3-и лица			Строители			3-и лица		
		Погибло	Травм.	Всего	Погибло	Травм.	Всего	Погибло	Травм.	Всего	Погибло	Травм.	Всего
1	Аварии с механизмами	48	48	96	2	2	4	80%	63%	71%	0%	0%	0%
2	Пожар	14	6	20	0	0	0	274%	389%	396%			
3	Обрушение конструкций	42	50	92	3	17	20	86%	109%	88%			
4	Обрушение строит. лесов	9	21	30	0	0	0						
5	Обрушение кровли	0	0	0	0	0	0					0%	0%
6	Обрушение ограждений	0	0	0	0	2	2	165%	176%	169%			
7	Нарушение ТБ	98	47	145	0	0	0	120%	60%	68%	0%	0%	0%
8	Взрыв оборудования	6	38	44	1	3	3	120%		120%	90%	120%	107%
9	Несчастный случай	1	0	1	4	9	9	120%		303%	0%	0%	0%
10	Обвал грунта	17	4	21	1	1	1	120%		120%	90%	120%	107%
11	Другие	16	4	20	1	1	1	275%	420%	303%	240%		360%
Итого		251	218	469	12	28	40	138%	118%	128%	160%	73%	110%

Наиболее важными факторами для добровольного, целесообразного эффективного внедрения робототехники в строительное производство можно считать снижение травматизма и устранение дефицита рабочей силы рынка труда для предотвращения срывов производства. И вести разработку и внедрение робототехники, опираясь на концептуальный подход [8-10].



Рис. 2. Концептуальный подход для применения робототехники на строительном производстве

Рассмотрим возможные варианты разработки и внедрения робототехнических комплексов в строительное производство, на основе требований по снижению травматизма и замещения дефицита рабочей силы.

Для снижения травматизма рекомендуется разработать модели роботов, выполняющие следующие технологические процессы или функции:

- 1) полностью безлюдный демонтаж зданий и сооружений;
- 2) обследование и ремонт ветхих крыш, покрытий и перекрытий;
- 3) профилактическая и аварийная очистка коллекторов городской ливневой канализации;
- 4) профилактическая и аварийная очистка коллекторов и шахт мусоропроводов, труб, лифтов, вентиляции, других видов шахт и коллекторов;
- 5) работы по нанесению лакокрасочных покрытий, а также работ с интенсивным образованием пылевых частиц;
- 6) работы в производственных помещениях, связанные с демонтажем выведенных из эксплуатации технологических резервуаров, в которых находятся остатки полупродуктов работы, содержащие сильнодействующие яды и другие опасные вещества.

Для замещения дефицита рабочей силы рекомендуется разработать модели роботов, выполняющие следующие технологические процессы или функции:

- 1) футеровщики промышленных печей и резервуаров;
- 2) рабочие по демонтажу капитальных зданий и сооружений;
- 3) рабочие-трубочисты;
- 4) промышленные альпинисты;
- 5) отделка помещений в интенсивном режиме при работе с ядовитыми и пыльными материалами.

Выводы

1. Определена существующая на сегодняшний день практика использования робототехники на строительном производстве – выявлены типоразмеры техники и решаемые задачи с помощью нее.

2. На основе имеющихся подходов о разработке и по данным анализа проблем, предложены перспективные задачи в области строительного производства, которые целесообразно выполнять с помощью привлечения робототехнических комплексов.

Библиографический список

1. Шагина Е.С. Роботизация как метод повышения безопасности строительного производства // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 6 (21). С. 128-14
2. Белоусов В.Е., Овсянкин П.И. Повышение качества строительно-монтажных работ с использованием робототехнических комплексов // В сборнике: Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование. сборник научных трудов 3-й международной молодежной научно-практической конференции: в 2 томах. 2016. С. 86-89.
3. Серия справочников по строительной робототехнике // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 1. С. 110.
4. Славова О.В. Внедрение робототехники в строительство // В сборнике: Строительство и реконструкция. Сборник научных статей 4-й Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров. Курск, 2022. С. 305-307.
5. Беляев С.Л., Овчинников Н.М., Калошина С.В. Технологии дистанционного управления в строительстве // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2017. Т. 2. С. 156-165.

6. Никишин А.А., Синенко С.А. Роботизация работ по антикоррозионной защите внутренней поверхности стального резервуара и оценка их экономической эффективности // Строительное производство. 2020. № 3. С. 10-13.
7. Мамаев Л.А., Герасимов С.Н., Федоров В.С., Герасимов С.В., Портнягина А.В. Преимущества автоматизации технологического процесса формирования поверхностей строительных изделий высокого качества // Механики XXI века. 2020. № 19. С. 131-134.
8. Михеев Г.В. Применение технологий автоматизации и роботизации в строительстве // Высокие технологии в строительном комплексе. 2022. № 1. С. 209-214.
9. Бок Т. Социально ориентированное функционально гибкое доступное жилье за счет технических инноваций на базе автоматизации и роботизации строительства // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 10. С. 10-14.
10. Артеменко М.Н., Корчагин П.А., Тетерина И.А. Тенденции развития мобильных беспилотных роботизированных комплексов. Опыт отечественных и зарубежных производителей // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2019. Т. 16. № 4 (68). С. 416-430.

References

1. Shagina E.S. Robotization as a method of improving the safety of construction production // Construction of unique buildings and structures. 2014. No. 6 (21). pp. 128-14
2. Belousov V.E., Ovsyankin P.I. Improving the quality of construction and installation works using robotic complexes // In the collection: Quality of production: control, management, improvement, planning. collection of scientific papers of the 3rd International Youth Scientific and practical conference: in 2 volumes. 2016. pp. 86-89.
3. A series of reference books on construction robotics // Industrial and civil construction. 2017. No. 1. p. 110.
4. Slavova O.V. Introduction of robotics in construction // In the collection: Construction and reconstruction. Collection of scientific articles of the 4th All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists, postgraduates, masters and Bachelors. Kursk, 2022. pp. 305-307.
5. Belyaev S.L., Ovchinnikov N.M., Kaloshina S.V. Remote control technologies in construction // Modern technologies in construction. Theory and practice. 2017. Vol. 2. pp. 156
6. Nikishin A.A., Sinenko S.A. Robotization of works on anticorrosive protection of the inner surface of a steel tank and evaluation of their economic efficiency // Construction production. 2020. No. 3. pp. 10-13.
7. Mamaev L.A., Gerasimov S.N., Fedorov V.S., Gerasimov S.V., Portnyagina A.V. Advantages of automation of the technological process of forming surfaces of high-quality construction products // Mechanics of the XXI century. 2020. No. 19. pp. 131-134.
8. Mikheev G.V. Application of automation and robotization technologies in construction // High technologies in the construction complex. 2022. No. 1. pp. 209-214.
9. Bok T. Socially oriented functionally flexible affordable housing due to technical innovations based on automation and robotization of construction // Industrial and civil construction. 2014. No. 10. pp. 10-14.
10. Artemenko M.N., Korchagin P.A., Teterina I.A. Trends in the development of mobile unmanned robotic complexes. Experience of domestic and foreign manufacturers // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. 2019. Vol. 16. No. 4 (68). pp. 416-430.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 69.001.5

*Воронежский государственный
технический университет
Магистрант Волков С.Н.
e-mail: sergeyvolkov2001@gmail.com
Магистрант Селезнева В.Н.
e-mail: svaleria270299@mail.ru
Студент Габриелян М.А.
e-mail: gabrielyan-525@mail.ru*

*Voronezh State
Technical University,
Master student Volkov S.N.
e-mail: sergeyvolkov2001@gmail.com
Master student Selezneva V.N.
e-mail: svaleria270299@mail.ru
Student Gabrielyan M.A.
e-mail: gabrielyan-525@mail.ru*

С.Н. Волков, В.Н. Селезнева, М.А. Габриелян

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В 3D-МОДЕЛИРОВАНИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Рассмотрены технология, виды и способы 3D-моделирования в строительстве. Проанализирован отечественный и зарубежный опыт применения на практике данного метода. Выявлены преимущества и недостатки его использования.

Ключевые слова: 3D-моделирование, 3D-печать, 3D-принтер, строительство, бетонная смесь.

S.N. Volkov, V.N. Selezneva, M.A. Gabrielyan

NEW TECHNOLOGIES IN 3D MODELING AND THEIR APPLICATION IN CONSTRUCTION

The technology, types and methods of 3D modeling in construction are considered. The domestic and foreign experience of applying this method in practice is analyzed. The advantages and disadvantages of its use are revealed.

Key words: 3D modeling, 3D printing, 3D printer, construction, concrete mix.

На сегодняшний день отрасль строительства является одной из самых важных отраслей в экономике почти каждого стремительно развивающегося государства. Со временем экстенсивный ее рост, начинает приобретать интенсивный характер. Одним из направлений, благодаря которому этот переход может быть осуществлен, являются аддитивные технологии строительства с помощью 3D-принтера.

Данный способ представления объектов начал применяться в 1960-х годах, когда этим занимались специалисты компьютерной инженерии. Актуальность данной темы не вызывает сомнения, так как современные технологии 3D-моделирования позволяют конструировать сложные и объемные модели, проводить тестирование и вносить в них изменения на различных уровнях.

Суть технологии заключается в возведении «опалубочного» контура стен с помощью 3D-принтера. Для создания малых форм и целых объектов строительства используются три основных метода: спекание; лазерная стереолитография; послойное экструдирование.

Первый метод – лазерная стереолитография. Для реализации используют установку в основе которой лежит лазер с ванной, который оборудован специальным столом. Эту ванну заполняют жидкой фотополимеризующейся композицией. Благодаря перемещению лазерного луча по заданной траектории, происходит послойное спекание материала. После завершения обработки начального слоя, стол ванны опускается на шаг, после этого выполняется формирование следующего слоя.

Второй метод – селективное спекание. Суть данного метода заключается в том, что рабочие чернила, например, кварцевый песок, расплавляются за счет действия точечного лазерного луча, в котором направление траектории регулируется с помощью кулачкового механизма. Перемещение обрабатываемого материала приводится в движение благодаря небольшому двигателю. При этом шаровая линза насквозь прожигает материал, который находится под ней.

Способ послойного экструдирования – самый широкоиспользуемый в 3D печати строительных принтеров. Суть данного метода заключается в том, что рабочее сопло, по-другому экструдер, выдавливает бетонную смесь, которая быстро твердеет. В нее входят различные добавки, которые улучшают прочностные характеристики будущей конструкции. Каждый последующий слой выдавливается 3D принтером поверх предыдущего, благодаря этому получается конструкция.



Рис. 1. Изготовление ограждающих конструкций при помощи 3D-принтера «СтройБот»

3D-печать ведёт свою историю с 1948 года, когда американец Чарльз Халл разработал технологию послойного выращивания физических трёхмерных объектов из фотополимеризующейся композиции (ФПК). Технология получила название «стереолитографии» (STL).

В 1988 году Скотт Крамп (США) запатентовал технологию трехмерной печати с помощью послойной заливки расплавленной нити полимера (FDM).

В начале XXI века сразу несколько независимых групп ученых, из разных стран, начали исследования в области технологии 3D-печати в сфере строительства. В 2012 году были представлены первые потребительские строительные 3D-принтеры, а уже через два года был возведен первый экспонат одноэтажного жилья компанией Shanghai WinSun в Китае.

На сегодняшний день количество фирм, занимающихся как непосредственно возведением таких зданий и сооружений, так и тех, кто запускает крупные производства принтеров для строительства только растет. Лидером является китайская компания WinSun, преуспевающая в обеих сферах. Их принтер 50 метров длиной, 10 метров шириной и более 6 метров высотой, имеет возможность в течении пары часов напечатать здание высотой до 6 метров.

В декабре 2016 года в Ступино Московской области был осуществлен совместный проект американского стартапа Apis Cor и шести российских компаний. С помощью разработанного компанией Apis Cor 3D-принтера был напечатан жилой дом. Стоит упомянуть, что впервые в российской строительной практике дом печатался как единое целое, а не собирался из отпечатанных панелей.

В России действует серийное производство 3D-принтеров СПЕЦАВИА-АМТ. Производители утверждают, что по сравнению с 2015 годом, когда в Ярославле было запущено первое серийное производство строительных принтеров, сейчас их конструкция претерпела значительные изменения и усовершенствования, кроме того, существенно расширились возможности.

Довольно большое количество стран имеют перспективы развития в данной сфере, наряду с вышеупомянутыми странами стоят: Нидерланды, Германия, Франция, Словения.

Подробно изучив данную технологию можно выделить ряд достоинств и недостатков. К первым следует отнести следующие:

- перспектива работы в 3D-моделях;
- разнообразие сфер применения;
- высокая точность при реализации;
- возможность оценить внешние и внутренние характеристики объекта до его фактического возведения;
- экономичность технологического процесса;
- возможность применения ЭКО-материалов.

Например, возможность построить здание из биоразлагаемых материалов была подтверждена итальянским разработчиком 3D-технологий.

Gaia имеет площадь 30 м² и напечатана с использованием смеси почвы, взятой с прилегающей территории, и отходов производства риса — измельченной соломы и шелухи. Gaia — это результат ограниченного и оптимизированного использования сельскохозяйственных ресурсов, которые, благодаря технологиям, были преобразованы в биоразлагаемое жилое здание с минимальным воздействием на окружающую среду. В данном случае 3D-печать поддерживает все тренды на экологию.



Рис. 2. 3D-печатный дом Gaia. Масса Ломбардо, Италия

Дом Gaia является одним из многих примеров, когда 3D-строительство решает насущные вопросы в данной сфере (экологичность). Сюда же следуют отнести такие строения как:

- 3D-печатные дома для фермерского сообщества. Латинская Америка (проект, способствующий решению вопроса бездомности);
- Skidmore, Owings & Merrill (печатное строение генерирует собственную энергию и делится ею с сопутствующим транспортным средством, обеспечивая возможность автономной жизни);
- Проект реставрации Нотр-Дам де Пари. Париж, Франция;
- Houben & Van Mierlo Architecten, Технологический университет Эйндховена (3D-строительство из смеси с низким содержанием цемента, для уменьшения выброса CO₂ в окружающую среду).

И это лишь часть выдающихся инновационных проектов, направленных на улучшение качества жизни людей посредством применения 3D-строительства.

Несмотря на все плюсы, которые могли бы сократить сроки строительства, предусмотрев все нюансы на стадии проектирования, экономии человеческих, экологических и трудовых ресурсов, технология имеет ряд недостатков:

- ограниченный диапазон форм и размеров возводимых объектов;
- не большой выбор оборудования;
- отсутствие достаточного количества специалистов, способных обеспечить быстрый переход к массовому внедрению;
- особые требования к строительной площадке;
- недостаточность норм, способных в полной мере обеспечить законодательное регулирование данной сферы.

На сегодняшний день в Российской Федерации помимо общих строительных норм, регулирующих возведения зданий по данной технологии, действует ПНСТ 495-2020 «Предварительный Национальный Стандарт Российской Федерации. Строительные работы и типовые технологические процессы. Аддитивные технологии. применение трехмерной печати (3d-Печать) в Строительстве. Общие требования». Следует обратить внимание, что в стандарте прописано, что в связи с развитием данной сферы обзор приведенных в нем технологий не является исчерпывающим, как и сами нормы.

С развитием данного метода, применения инновационных материалов, совмещения при строительстве одного здания сразу нескольких технологий, включая традиционные, возникает необходимость в принятии комплексных норм и требований, а также методик расчета для нестандартных построек.

Со временем, при активном изучении 3D-строительства, увеличении практик его внедрения в массовое производство, адаптация образовательной системы для подготовки соответствующих кадров, расширении рамок законодательной базы, можно смело утверждать, что у данной технологии есть все шансы стать технологией будущего.

Вывод

Представленный анализ позволяет утверждать, что 3D-строительство является высокотехнологичной методикой, которая имеет перспективы для массового внедрения в производство, в том числе в России. Данная технология позволяет обеспечивать высокую производительность и простоту в создании сложных конструкций, а также, ее применение снижает себестоимость производства и затраты на логистику и персонал. С появлением в будущем должной нормативной и законодательной базы, 3D-печать в строительстве может приобрести больший масштаб как в гражданской, так и промышленной отраслях.

Библиографический список

1. Абрамян С.Г., Илиев А.Б. Современные строительные аддитивные технологии Часть 1. [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2018. - №1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-stroitelnye-additivnye-tehnologii-chast-1/viewer> (дата обращения: 21.10.2022).
2. Гончарова О.Н., Бережной Ю.М., Бессарабов Е.Н., Кадамов Е.А., Гайнутдинов Т.М., Нагопетьян Е.М., Ковина В.М. Аддитивные технологии-динамично развивающееся производство // Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3931 (дата обращения: 20.10.2022)..

3. Мустафин Н.Ш., Барышников А.А. Новейшие технологии в строительстве. 3D-принтер [Электронный ресурс] // Региональное развитие. - 2015. - № 8 (12). - URL: <https://regrazvitie.ru/novejshie-tehnologii-v-stroitelstve-3d-printer> (дата обращения: 21.10.2022).

4. Ракитин С.Ю., Илькубаев А. А. Формирование послойных контуров 3D-моделей для аддитивного производства // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всерос. науч.-метод. конф. - Оренбург, 2016. -С.223-230.

References

1. Abrahamyan S.G., Aliev A.B. Modern additive construction technologies Part 1. [Electronic resource] // Engineering Bulletin of the Don. – 2018. - №1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-stroitelnye-additivnye-tehnologii-chast-1/viewer>.

2. Goncharova O.N., Berezhnoj Ju.M., Bessarabov E.N., Kadamov E.A., Gajnutdinov T.M., Nagopet'jan E.M., Kovina V.M. Inzenernyj vestnik Dona (Rus). 2016. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3931.

3. Mustafin N.Sh., Baryshnikov A.A. Novejshie tehnologii v stroitel'stve. 3D printer [The latest technology in construction. 3D printer]. Regional'noe razvitie: jelektronnyj nauchno-prakticheskij zhurnal. 2015. № 8 (12). URL: <https://regrazvitie.ru/novejshie-tehnologii-v-stroitelstve-3d-printer>.

4. Rakitin S.Ju., Il'kubaev A.A. Formirovanie poslojnyh konturov 3d-modelej dlja additivnogo proizvodstva [The formation of the layered contours of the 3d models for additive manufacturing]. Universitetskij kompleks kak regional'nyj centr obrazovanija, nauki i kul'tury Materialy Vserossijskoj nauchno-metodicheskoy konferencii. Sbornik. Orenburg, 2016, pp. 223-230.

УДК: 666.9.022.3

*Белгородский государственный
технологический университет
Канд. экон. наук, доц. кафедры Подъемно
транспортных и дорожных машин
М.А. Романович*

*Россия, г. Белгород, тел. +7(905) 679-27-96
e-mail: bel31rm@yandex.ru*

*Белгородский государственный
технологический университет
Магистрант кафедры Подъемно транс-
портных и дорожных машин*

Д.С. Агафонов

*Россия, г. Белгород, тел. +7(910) 228-44-74
e-mail: agafonovdmity98@mail.ru*

*Белгородский государственный
технологический университет
Магистрант кафедры Подъемно транс-
портных и дорожных машин*

*А.Г. Искренюк Россия, г. Белгород, тел.
+7(905) 671-39-37
e-mail: iskrenok15@mail.ru*

*Belgorod state technological university
named after V.G. Shukhov*

*PhD in Economic Sciences, Associate Profes-
sor of the Department of Hoist transport and
road machines M.A. Romanovich*

*Russia, Belgorod, tel. +7 (905) 679-27-96
e-mail: bel31rm@yandex.ru*

*Belgorod state technological university
named after V.G. Shukhov*

*Master's Degree Student of the Department of
Hoist transport and road machines D.S.
Agafonov*

*Russia, Belgorod, tel. +7(910) 228-44-74
e-mail: agafonovdmity98@mail.ru*

*Belgorod state technological university
named after V.G. Shukhov*

*Master's Degree Student of the Department of
Hoist transport and road machines*

*A.G. Iskrenok
Russia, Belgorod, tel. +7(905) 671-39-37
e-mail: iskrenok15@mail.ru*

М.А. Романович, Д.С. Агафонов, А.Г. Искренюк

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСА ПУТЕЙ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ АГРЕГАТА В ПРОЦЕССЕ ДРОБЛЕНИЯ

В статье проанализирован механизм уплотнения и разрушения зерен измельчаемого материала. Определено необходимое усилие, которое необходимо для измельчения анизотропных горных пород с целью экономии энергии. Так как процесс измельчения, при котором учитывается физико-механические свойства различных материалов, что является малоизученной темой, поэтому нами были предложены новые положения, которые позволяют в производстве решать существующие проблемы при разработке технологии дезинтеграции материалов со сланцевой текстурой. Это исследование включает в себя материал для понимания факторов и важности исследовательского сотрудничества в контексте устранения пробелов в снижении потребления электроэнергии в процессах дробления и измельчения.

Ключевые слова: энергосбережение, измельчение материалов, величиной удельной поверхности, дробление.

М.А. Romanovich, D.S. Agafonov, A.G. Iskrenok

INVESTIGATION OF WAYS FOR REDUCING THE ENERGY CONSUMPTION OF THE UNIT IN THE CRUSHING PROCESS

The article is analyzed the mechanism of compaction and destruction of grains of the crushed material. The required force required for grinding has been determined and calculated in order to save energy. Since the grinding process, which takes into account the physical and mechanical properties of various mate-

rials, is a little-studied topic, therefore, we have proposed new provisions that allow us to solve existing problems in the development of the technology of disintegration of materials with a shale texture in production. This study includes material to understand the factors and importance of research collaboration in the context of addressing gaps in reducing electricity consumption in crushing and grinding processes.

Keywords: energy saving, grinding of materials, specific surface area, crushing.

Создание новых процессов измельчения и совершенствования, существующих с учетом индивидуальной текстуры и физико-механических свойств различных материалов является малоизученной темой. Недостаток исследований влияет на деятельность организаций и сопровождается рядом затрат и проблем, в том числе связанных с отсутствием учета особенностей разрушения сланцевых пород с анизотропной текстурой и единого научного подхода.

Рассматривая процесс технологического производства различного типа материалов необходимо отметить факт сложности и высокой стоимости самого технологического процесса, включающего в себя три основополагающих этапа относительно приложения силы к измельчаемому телу: первое это раздавливание; второе это удар и/или истирание; третье - измельчение.

Рассматривая сам процесс измельчения, он представляет собой механическое разрушение твердого тела материала под действием различных внешних сил. Эффективность такого энергоемкого процесса достигается при помощи приложения силы к дробимому телу.

Рассматривая более подробно технологический процесс измельчения материала на предприятиях, было выявлено, что при увеличении размеров куска материала, который измельчается в агрегате, его прочность соответственно уменьшается. Это может, объясняется наличием трещин в зерне и локальных концентраций напряжений. Во многих исследованиях отмечается, что при описании процессов измельчения, которые основываются на ударе, описывается характеристика прочности материала в виде прочности на разрыв. Так, например, в различных процессах тонкого измельчения, помоле и т.д., основанных на ударе и истирании, проведение анализа изучаемого механизма разрушения частиц твердого тела очень затруднено. В этой связи характеристика прочности материала будет использована в виде зависимости прироста удельной площади поверхности измельчаемого материала $F_{уд}$ ($\text{м}^2/\text{м}^3$) от удельного расхода энергии $\mathcal{E}_{уд}$ (Дж/кг). [8]

При проведенном анализе литературы, было установлено, что различные ученые и исследователи [1-5] неоднократно принимали попытки интерпретировать физическую сущность процесса разрушения различных горных пород, и соответственно предлагали теории и модели. В процессе математического описания каждого из них используются различные прочностные характеристики материалов.

Для успешного и продуктивного функционирования технологий и технологических средств, оборудования для разрушения горных материалов, необходимо учитывать последующую утилизацию различных технологических отходов производств, что приведет к большим затратам электроэнергии.

Рассматриваемые как объект анизотропные породы, сотни миллионов кубометров которых попутно извлекают при открытом способе добычи полезных ископаемых, используют для производства бетонов, асфальтобетонов, щебня и других строительных материалов. Слоистость таких материалов обуславливает анизотропию свойств исходных пород и индуцирует анизотропию свойств строительных материалов.

Говоря о понятии энергозатрат, перед нами возникла необходимость объяснить взаимосвязь между затратами энергии в процессе дробления горных пород и между величиной удельной поверхности продуктов дробления. [9]

Возьмем за основу математическую модель, разработанную Г.М. Редькина, которая описывает вызванную слоистостью анизотропию свойств горных пород и строительных ма-

териалов, что позволит решать различные практические задачи, в том числе прогнозирование качества дробимого и строительного материалов.[8]

Используемая в работе математическая модель разрушения давлением анизотропных материалов представляет особый интерес по сравнению с остальными существующими, так как, несмотря на различие подходов, этот вопрос все так же остается слабо исследованным, особенно в области процесса дезинтеграции в пресс-валковом измельчителе анизотропных материалов.

Для этого за основу возьмем уравнение, в котором равновесие сил на оси координат «х» и «у»:

Беря за основу расчеты математической модели движения мелющих тел [Воробьев Н.Д., Богданов В.С. и Ельцов М.Ю. (1988)], где определено, что предел прочности, как установлено, при растяжении хрупких тел, осуществляется гораздо сложнее и во много раз меньше, чем на сжатие. Следует учитывать сложность реализации этого важного процесса в технологических линиях промышленных агрегатах и устройствах, где целесообразно использовать его вариации. Например, в частности, одна из вариаций это раздавливающе-сдвиговое деформирование используемого материала.[6,7]

Чтобы рассмотреть более подробно процесс измельчения материала, а в частности при раздавливающе-сдвиговом деформировании и его частиц, допустим, что это происходит в пресс-матрице с пуансоном, имеющим срез под углом α и в качестве объекта изучения берется материал, находящийся в предельно-напряженном состоянии под воздействием, например применяемого какого-то усилия F_0 .

Основываясь на данном предположении, представим уравнение равновесия проекций сил на оси координат «у» и «х» при двухстороннем прессовании. Здесь мы не учитываем особенности сил трения частиц анизотропного материала о боковые поверхности матрицы

$$\begin{cases} 2\sigma_K S_K \cos \gamma_\sigma \cos \alpha - 2F_y + 2f_T \sigma_K S_K \cos \gamma_\tau \cos \alpha = 0, \\ 2\sigma_K S_K \sin \gamma_\sigma \cos \theta \cos \alpha - 2F_x - 2f_T \sigma_K S_K \sin \gamma_\tau \cos \psi \cos \alpha = 0 \end{cases}$$

где S_K – суммарная площадь поверхностей взаимодействия всех частиц, m^2 , f_T – коэффициент внутреннего трения, σ_K – предельно-допустимое напряжение в точках контакта между зернами, МПа, γ_σ , γ_τ – соответственно, величины углов между результирующими векторами и осями координат $\sigma_K S_K$ и $f \sigma_K S_K$.

После множественных математических преобразований уравнений, окончательно получено следующее

$$n = \frac{S_n v}{d_{cp}^2 \varphi}; \quad k = \frac{kv}{2}; \quad S'_K = \frac{2\varphi d_{cp}^2 d_k}{\alpha \cos \gamma v^2}$$

где S_n – площадь прессования, v – величина плотности материала, при номинальной плотности таблетки ρ_M , $v = \rho_n / \rho_M$; γ – величина угла контакта, d_{cp} – приведенная величина частицы материала, α – среднее число взаимодействия частиц при их максимальной плотности ρ_M , и относительная величина, равная:

$$k = \frac{S_k}{S_n}$$

где S_K – величина суммарной площади контактов зерен при их насыпной плотности.

В результате анализа исследований и полученных результатов ученых и исследователей по нашему мнению, недостатками определений, является то, что авторы не учитывают особое влияние газогидравлического демпфирующего устройства, которое создает именно такое необходимое давление в процессе измельчения материала и не учитывают специфику разрушения сланцевых пород с анизотропной текстурой. Затем, после завершения операции, полученное сырье подается из бункера и попадает в зазор между валками, где оно измельчается под

высоким давлением, а в результате данного взаимодействия между зернами осуществляется микродеформация между поверхностями валков, а так же в слое. Все это описывается на основе проведенного исследования в ходе процесса разрушения давлением хрупких тел.

Научно и экспериментально доказано, что в процессе осуществления данной технологии происходит потребление гораздо меньшего объема потребляемой энергии, чем например, при аналогичных условиях работы пресс-валкового агрегата. Продукт, который был получен на выходе, после истирания между рабочими поверхностями представляет собой форму спрессованных коржей. У этих коржей различная величина параметров сопротивления разрушению зависит от приложенного к ним усилия.

Таким образом, экспериментально обосновано и подтверждено, что при использовании данного способа измельчения, происходит снижение удельного расхода электроэнергии на 20-25%, что влияет на производительность конечного агрегата, например, шаровой мельницы и повышается до 30%.

Ссылаясь на работы исследователя Г.А. Дересевича, где было установлено, что количество контактов различных частиц материала прямо пропорционально величине их плотности ν . [8] В этой связи рассмотрим уравнение:

$$\alpha = 12 \frac{2,2\nu - 0,9}{g}$$

Для расчетов предположим, что $F_Y = \sigma_{cp} S_n$ и $F_X = \xi \sigma_{cp} S_n$,

где σ_{cp} – прочность частиц на сжатие, МПа; ξ – коэффициент, учитывающий величину боковых усилий.

Таким образом, полученное уравнение принимает следующий вид:

$$\begin{cases} \sigma_{cp} S_n = S_n \alpha_k \cos \alpha (\sigma_k + f_T \sigma_k \operatorname{tg} \gamma + \tau_m \operatorname{tg} \gamma) \\ \xi \sigma_{cp} S_n = 0,71 S_n \alpha_k \cos \alpha \cdot \sigma_k (\operatorname{tg} \gamma - f_T) \end{cases}$$

Вышеописанный механизм рассматривает процессы уплотнения и разрушения зерен измельчаемого материала.

Рассмотрим уравнение проекции сил на ось X и осуществим расчет усилия необходимо предпринять удельное усилие измельчения для известняка органогенного, с $\alpha_{ср.636} \approx 2 \times 10^{-3}$ м:

$$\sigma_{cp} = 0,71 \alpha_k \cos \alpha \sigma_k (\operatorname{tg} \gamma - f_T) / \xi$$

Возьмем для расчета следующие параметры, где $f_T = 0,40$; $\alpha_k = 1$; $\operatorname{tg} \gamma = 1,1$; $\alpha = 25$; $\xi = 0,24$, с пределами прочности на сжатие известняка органогенного, равными $\sigma_k = 55$ МПа; $\sigma_k = 85$ МПа, получим следующее:

- расчет усилия в направлении линии сланцеватости:

$$\sigma_{cp} = 0,71 \cdot 1 \cdot \cos 25 \cdot 55 \cdot (1,1 - 0,40) / 0,24 = 112,9 \text{ МПа}$$

- расчет усилия в перпендикулярном направлении:

$$\sigma_{cp} = 0,71 \cdot 1 \cdot \cos 25 \cdot 85 \cdot (1,1 - 0,40) / 0,24 = 174,5 \text{ МПа}$$

В результате произведенных расчетов, мы можем сделать вывод, о том что, нами были получены конечные результаты, подтверждающие тот факт, что в процессе дробления при разрушении в направлении наименьшей прочности анизотропных сланцевых материалов, потребуются меньшие усилия, что позволит экономить энергию.

Выводы

В работе с целью установления взаимосвязи между затратами энергии в процессе измельчения различных горных пород и между величиной удельной поверхности продуктов дробления, устранения пробелов в вопросах снижения электроэнергии, которая расходуется на процессы дробления и измельчения, были разработаны и предложены новые положения, позволяющие разрешить существующие ситуации при разработке технологии дезинтеграции

материалов со сланцевой текстурой. Так же полученные нами результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Промышленным горнодобывающим предприятиям позволит усовершенствовать процесс разрушения, дробления, измельчения, что соответственно приведет к сокращению потребления электроэнергии;
2. Полученные уравнения в ходе аналитических исследований, позволяют рассчитать требуемое усилие анизотропных пород;
3. Установить анализ происхождения горных пород, что их зарождение осуществлялось в результате различных процессов формирования.

Библиографический список

1. Andreev A.Yu., Klimov V.N. Stationary crushing plants for the production of cuboid crushed stone Modern problems of the mining and metallurgical complex Science and production, 2017. 1, 110-113.
2. Burhadt E., Kessler M. Application of high-pressure roller crushers in the mining and processing industry Mining journal, 2014. 11, 26-30.
3. Mersman M., Technology for the modernization of cement plants of the company KHD Humboldt Wedag GmbH Cement and Its application, 2005. 3 40-43.
4. Pryshchepau M.A., V.A. Daineko, Pryshchepava A.M. Substantiation of the algorithm for controlling the adjustable electric drive of roller crusher-grinders of forage grain Agricultural science Euro-North-East, 2020. 21(2),183-198.
5. Romanovich A.A., Amini E., Romanovich M.A. Improving the efficiency of the material grinding process IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2020, 945, 012060.
6. Romanovich M.A. et al, Unit with a device for directional feeding of rocks with a shale structure J. Phys.: Conf. Ser., 2021. 1926, 012027.
7. Клычков А. А., Романович М. А. Анализ оборудования для измельчения материалов, применяемых в дорожном строительстве // Надежность и долговечность машин и механизмов: Сборник материалов X Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 18 апреля 2019 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2019. С. 433-435.
8. Редькин Г.М, Кокунько В.К., Бабин А.Е. Известия вузов 3, 113-117 (1990).
9. Романович А. А., И. Амини, М. А. Романович [и др.] Энергосбережение при измельчении материалов с анизотропной текстурой // Строительные и дорожные машины, 2020. 11, С. 9-16.

References

1. Andreev A.Yu., Klimov V.N. Stationary crushing plants for the production of cuboid crushed stone Modern problems of the mining and metallurgical complex Science and production, 2017. 1, 110-113.
2. Burhadt E., Kessler M. Application of high-pressure roller crushers in the mining and processing industry Mining journal, 2014. 11, 26-30.
3. Mersman M., Technology for the modernization of cement plants of the company KHD Humboldt Wedag GmbH Cement and Its application, 2005. 3 40-43.

4. Pryshchepau M.A., V.A. Daineko, Pryshchepava A.M. Substantiation of the algorithm for controlling the adjustable electric drive of roller crusher-grinders of forage grain Agricultural science Euro-North-East, 2020. 21(2),183-198.
5. Romanovich A.A., Amini E., Romanovich M.A. Improving the efficiency of the material grinding process IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2020, 945, 012060.
6. Romanovich M.A. et al, Unit with a device for directional feeding of rocks with a shale structure J. Phys.: Conf. Ser., 2021. 1926, 012027.
7. Klychkov A. A., Romanovich M. A. Analysis of equipment for grinding materials used in road construction // Reliability and durability of machines and mechanisms: Collection of materials of the X All-Russian Scientific and Practical Conference, Ivanovo, April 18, 2019. – Ivanovo: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters", 2019. pp. 433-435.
8. Redkin G.M., Kokunko V.K., Babin A.E. Izvestiya vuzov, 1990. 3, 113-117.
9. Romanovich A. A., Amini E., Romanovich M. A. Energy saving when grinding materials with anisotropic texture. Construction and road machines, 2020. 11. pp. 9-16.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
студент группы 3150801/00101
Инженерно-строительного института
К.А. Быстров
Россия, г. Санкт-Петербург,
e-mail: bystrov.ka@edu.spbstu.ru
Канд. техн. наук, доцент Высшей школы
промышленно-гражданского и дорожного
строительства О.С. Гамаюнова
Россия, г. Санкт-Петербург,
тел. +7(921) 965-88-25
e-mail: gamayunova_os@spbstu.ru*

*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic
University
student of group 3150801/00101 of the Civil
Engineering Institute
K.A. Bystrov
Russia, St. Petersburg,
e-mail: bystrov.ka@edu.spbstu.ru
Ph.D., Associate Professor of the Higher
School of Industrial, Civil and Road
Construction O.S. Gamayunova
Russia, St.Petersburg,
tel. +7(921) 965-88-25
e-mail: gamayunova_os@spbstu.ru*

К.А. Быстров, О.С. Гамаюнова

ИННОВАЦИОННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Инновационные разработки в сфере производства строительных материалов направлены на улучшение их основных свойств, таких как: прочность, долговечность, экологичность, а также на изобретение более дешевых материалов. В статье представлен ряд инновационных строительных материалов, среди которых: токопроводящий и самовосстанавливающийся бетон, «прозрачный» бетон, самоочищающееся стекло, аэрогель, аэрокирпич, жидкая теплоизоляция, пластимигран, жидкая плитка, гибкое дерево и др. Сделан вывод о том, что многие новые материалы находятся еще на стадии исследований, часть результатов таких исследований представлена в данной статье.

Ключевые слова: строительные материалы, инновации, вторичное сырье, токопроводящий бетон, самовосстанавливающийся бетон, «прозрачный» бетон, самоочищающееся стекло, аэрогель, аэрокирпич.

К.А. Bystrov, O.S. Gamayunova

INNOVATIVE BUILDING MATERIALS

Innovative developments in the production of building materials are aimed at improving their basic properties, such as strength, durability, environmental friendliness, as well as at the invention of cheaper materials. The article presents a number of innovative building materials, including: conductive and self-healing concrete, "transparent" concrete, self-cleaning glass, airgel, aerobrick, liquid thermal insulation, plastimigran, liquid tile, flexible wood, etc. It is concluded that many new materials are still at the research stage, some of the results of such studies are presented in this article.

Keywords: construction materials, innovations, secondary raw materials, conductive concrete, self-healing concrete, "transparent" concrete, self-cleaning glass, airgel, airbrick.

Современные реалии развития России требуют быстрого возведения жилых и общественных зданий, объектов промышленного, военного и сельскохозяйственного назначения [1]. На строительном рынке появляется всё больше уникальных строительных и отделочных материалов, которые могут значительно ускорить и повысить эффективность строительства. Строительную отрасль затронул и целый ряд других кардинальных изменений, таких как, например, стремительное внедрение в практику проектирования строительных объектов BIM-технологий, появление самовосстанавливающихся материалов и др. [2, 3]. Все инновационные разработки так или иначе направлены на улучшение основных свойств строительных материалов, таких как прочность, долговечность и экологичность [4].

За последние десятилетия было разработано большое количество новых типов и видов бетона и цемента, обладающих новыми свойствами и характеристиками. Так, в статьях [5, 6] представлен анализ существующих данных по применению органических добавок в бетон в целях улучшения его теплотехнических характеристик, выявлены наиболее перспективные виды добавок для армирования, проведена серия экспериментальных исследований. Влияние золы на свойства бетонов исследовали Барабанщиков Ю., Усанова К. [7, 8], применение осадков сточных вод в производстве бетона изучили Чулкова И.Л., Смирнова О.Е., Красова А.В. [9]. Тычинина А.М., Ньят Тхюи З.Л., Епишкин Н.А., Балабанов В.Б., Барышок В.П. в работах [10, 11] предложили использовать серу в качестве добавки в бетон.

Большой интерес вызывает опыт использования отходов строительной отрасли при получении инновационных материалов [12, 13]. Использовать можно стекольный и керамический бой, цементную пыль, отходы производства минеральной ваты и др. Примеры таких инновационных материалов представлены на рис.1 [12].

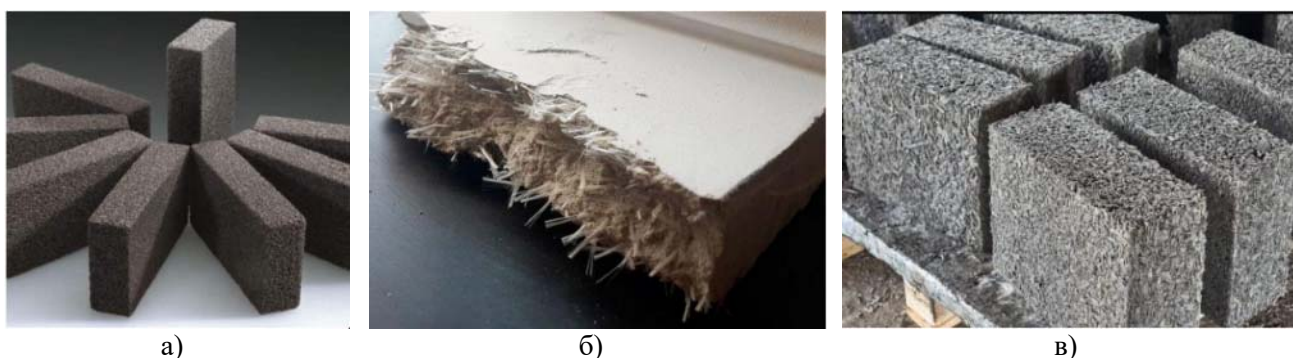


Рис. 1. Инновационные материалы с использованием отходов строительной отрасли:
а – пеностекло; б - бетон с отходами стекла; в – деревобетон [12]

Исследователи Каряев С.Б., Тускаева З.Р., Музаева М.Г. представили результаты анализа использования местных добавок и отходов в производстве строительных материалов [14]. Авторы пришли к выводу, что при использовании при производстве строительных материалов и изделий отходов снижается цена на строительные материалы, а также решается экологическая проблема.

Инновационные конструкционные материалы

Токопроводящий бетон. Новые области применения бетона потребовали и новых знаний о его свойствах. В последние годы большое внимание уделяется электротехническим свойствам бетона, что объясняется большими перспективами, которые откроются перед строительством, электроэнергетикой и другими отраслями, если будут найдены надежные пути превращения бетона в электропроводящий материал [15].

Группа ученых из Университета Небраски разработала токопроводящий бетон ShotCrete, который обладает способностью не только поглощать, но и отражать электромаг-

нитные волны как искусственного, так и естественного происхождения [4]. Изначально предполагалось его применение для предотвращения обледенения взлётно-посадочных полос. На данный момент эти свойства бетона Shotcrete уже доказаны на практике: недалеко от упомянутого выше университета был построен мост, при сооружении которого использовались плиты из такого материала; проблема наледи не возникает уже много лет.

В России в 2017 году также был зарегистрирован свой аналог этого строительного материала. Ученые Дальневосточного федерального университета совместно с коллегами из Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления разработали сверхпрочный карбоновый бетон, также способный проводить электричество [15]. По итогам проведенных испытаний задокументировано, что новый тип бетона не только может проводить электричество, но и на 30-35% прочнее, чем иностранные аналоги (табл.).

Таблица

Свойства и состав токопроводящего бетона [15]

№ п/п	Состав, мас. %						Свойства				
	Цемент	Зола уноса	Песок	Углеродистый шлам	Гипер- пластифи- катор	Вода	Предел прочности при сжатии	Водопо- глощение по массе %	Удельная электропро- водность, Ом- 1*м-1	Теплопро- водность, Вт/м*К	Подвиж- ность смеси, мм
1	10,0	13,0	19,0	15,8	0,2	42	37,3	12	5,5	0,53	0,56
2	10,8	13,8	18,2	15,0			38,0	13	5,0	0,54	
3	11,6	14,6	17,5	14,1			39,1	13	4,5	0,48	
4	12,2	15,4	16,8	13,4			39,4	12	3,5	0,56	
5	12,7	16,2	16,1	12,8			41,2	13	4,5	0,45	
6	13,4	16,9	15,4	12,1			43,6	12	5,5	0,54	
7	13,7	17,5	14,7	11,9			45,8	12	6,5	0,52	
8	14,0	18,0	14,0	11,8			47,1	12	7,0	0,55	
Прототип: графит-35, цемент-20, песок-35, вода-10							16,4	10	3,5	0,49	130

Светопроводящий («прозрачный») бетон

Основным недостатком бетона считают его внешнюю непривлекательность, что компенсируется его прочностными свойствами и разнообразием применения. Новые технологии позволяют скрыть бетонные стены с помощью декоративных штукатурок, навесных фасадных систем, облицовкой сайдингом, покраской. Однако немногие знают, что еще в 2001 году был запатентован прозрачный светопроводящий бетон (рис.2), получивший международное название LiTraCon [16].



Рис. 2. Светопроводящий бетон [16]

LiTraCon представляет собой комбинацию стекловолокна и мелкозернистого бетона. Из-за наличия в его структуре огромного количества оптических волокон он становится полупрозрачным. Толщина изделия из светопроводящего бетона ничем не ограничена. Не го-

рит, обладает высокой устойчивостью к температуре, ультрафиолетовому излучению. Стена дома из прозрачного бетона обеспечит большое проникновение естественного света в помещение в дневное время и освещение близлежащей территории в вечернее время благодаря освещению в здании. В настоящее время изделия из прозрачного бетона используются не так часто. Высокая стоимость материала не позволяет широко применять его в строительстве [4].

Самовосстанавливающийся бетон. Благодаря высокой прочности, долговечности, дешевизне и простоте использования бетон является одним из самых популярных строительных материалов. Его главная проблема – хрупкость, особенно в регионах с холодными зимами. Даже в микротрещинах скапливается замерзающая влага, расширяется и увеличивает зону повреждения. Поэтому бетонные конструкции требуют периодического ремонта. Голландские ученые решили эту проблему, создав самовосстанавливающийся бетон [4]. С этой целью они добавили гранулы, содержащие в составе споры бактерий бацилл и лактат кальция, которым питаются микроорганизмы. В случае возникновения трещин в гранулы попадает влага и бактерии переходят в активное состояние. Таким образом производят минеральный кальцит, который заполняет образовавшиеся пустоты, препятствуя дальнейшему разрушению бетона (рис.3).

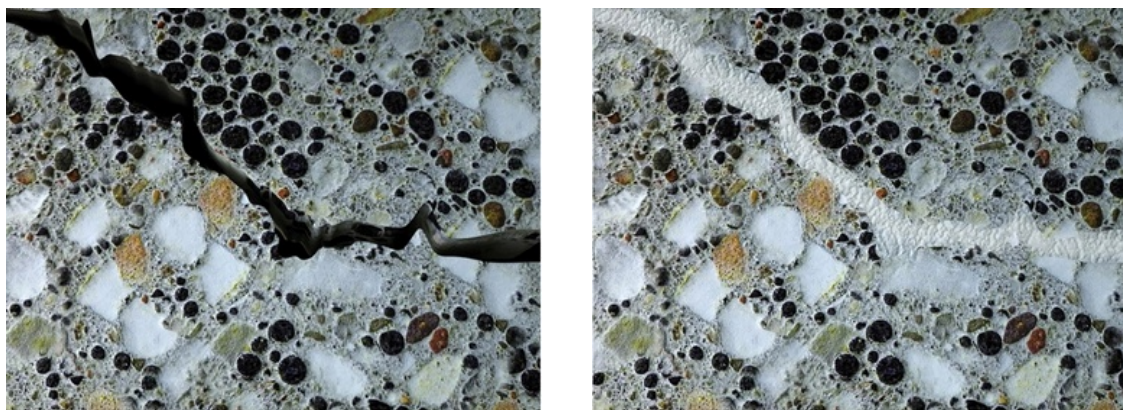


Рис. 3. Самовосстанавливающийся бетон¹

Самоочищающееся стекло было разработано японскими учеными; оно решило сразу целый ряд проблем, связанных с работой промышленных альпинистов в высотных зданиях. Суть изобретения в том, что снаружи стекло покрывается специальным напылением, которое очищает стекло от органических и других загрязнений. Стекло покрыто тонким слоем оксида титана, который сохраняет свои качества в течение более 20 лет. Это покрытие обладает двумя уникальными химическими свойствами: фотокаталитическим и гидролитическим эффектами. Под действием ультрафиолета и кислорода происходит разложение органических загрязнений на поверхности. Кроме того, вода, находящаяся на стекле, не собирается в капли, а равномерно растекается по нему, смачивая всю поверхность пленки и появившуюся на поверхности грязь. Эта водная пленка скатывается со стеклянной поверхности, смывая при этом грязь, после чего стекло высыхает без разводов. Прочность этого специального покрытия достигается за счет сложного изготовления – на боковую сторону еще горячего стекла наносится тончайшее покрытие. Затем стекло остывает, и покрытие становится как бы его частью – его невозможно повредить или поцарапать, не повредив и не разбив стекло. Активное покрытие стекла начинает действовать через несколько дней после установки стекла [4].

¹ Самовосстанавливающийся бетон [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ocenin.ru/samovosstanavlivayushhijsya-beton/> (дата обращения: 13.07.2022)

Инновационные теплоизоляционные материалы

Большое количество работ посвящено принципам и основным направлениям ресурсо- и энергосбережения в строительстве и архитектуре [17-20, 26-28].

Аэрогель - крепкий, легкий и экологически безопасный материал является хорошим теплоизолятором строительных конструкций и инженерных коммуникаций (рис.4). Сейчас на строительном рынке можно приобрести различные продукты на базе аэрогеля: панели, нетканый материал, огнестойкий теплоизолирующий порошок, стекло-аэрогель, краску.

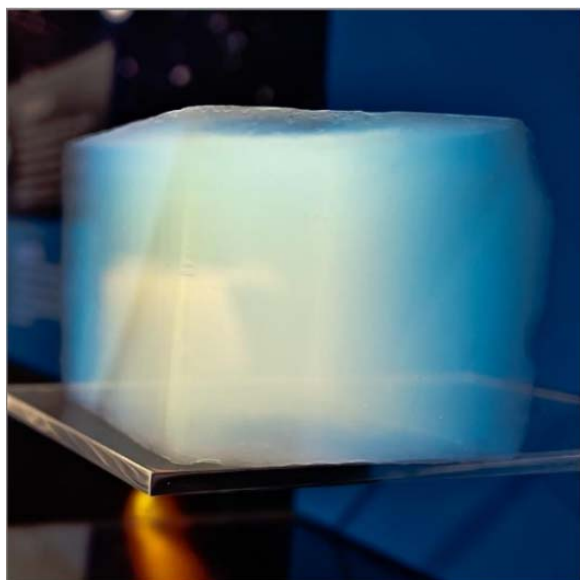


Рис. 4. Аэрогель [21]



Рис. 5. Сравнение толщины стен из различных видов кирпича (слева направо): аэрокирпич, кирпич с наполнителем из перлита, пустотелый кирпич [22]

Компания ЕМРА (Швейцария) создала необычный строительный материал – аэрокирпич – пустотелый кирпич, который внутри заполнен аэрогелем. Аэрокирпич практически не поглощает влагу и является паропроницаемым, а также способен выдерживать температуры до 300 °С. Исследования [22] показали, что аэрокирпич на треть лучше обеспечивает теплоизоляцию здания, чем кирпичи, заполненные перлитом, имеющие одинаковую толщину и структуру. Сравнение с кладкой из стандартного пустотелого кирпича дает еще более значимый эффект: стена из пустотелого кирпича должна быть толщиной 1240 мм, чтобы теплоизолировать здание также, как стена из кирпича с наполнителем из аэрогеля толщиной всего 165 мм (рис.5). К сожалению, аэрокирпич пока не получил массового распространения в виду сложности и дороговизны производства.

Жидкая (напыляемая) теплоизоляция. Ecotermix (рис.6) – это материал на основе пенополиуретана, который на 95-97% состоит из воздуха. Он имеет низкую теплопроводность, а также не подвергается воздействию влаги, и, соответственно, его установка не требует дополнительной пароизоляции, что снижает затраты на утепление. В результате напыления на поверхности остается однородный слой утеплителя, не имеющий швов и стыков, наличие которых обычно приводит к теплопотерям. Ecotermix можно наносить на любой материал - гипс, бетон, деревянный брус, стекло и металл. Ecotermix устойчив к воздействию атмосферных осадков, различных химических веществ, в том числе агрессивных - кислот, щелочей, минерального масла и т.д. Этот материал имеет небольшой вес, который не перегружает основание и строения [4].



Рис. 6. Нанесение жидкой теплоизоляции²



Рис. 7. Пластмигран³

Пластимигран - материал на основе минеральной ваты и полистирольной пыли. Полученная однородная масса из данных веществ в железной перфорированной форме продувается паром под высочайшим давлением [1]. Отсутствие химических добавок обеспечивает экологичность материала. Пластмигран - крепкий, водонепроницаемый и устойчивый к огню. Можно отметить преимущество пластмигрana по схожим параметрам над пенополистеролом и материалами из минеральной ваты (рис.7).

Инновационные отделочные материалы

Гибкая черепица. Итальянским ученым удалось разработать тонкие и гибкие крупноформатные глиняные плиты, которые могут применяться для интерьерных и фасадных решений (рис.8). Внешне такие плиты практически не отличаются от керамогранита, но имея толщину всего 3 мм, они обладают высокой ударостойкостью. По сравнению с керамогранитом гибкая черепица имеет малый вес, и ее можно согнуть. Режется материал при помощи стеклореза.

Гибкое дерево WoodSkin (рис.9) - это плитки из фанеры, состоящие из двух равнобедренных треугольников. Между ними - полимерная сетка и нейлоновое полотно. Плитка из фанеры обеспечивает прочность и жёсткость, а подложка из нейлона и полимерной сетки придаёт материалу гибкость.

Отделка стен **тканью** (рис.10) стала популярна из-за особенной необычности, яркости и броскости стен. Тканевая отделка, замысловатые узоры, интересные рисунки так и притягивают восхищенные взгляды окружающих.

Жидкая плитка (рис.11) очень эксклюзивный вариант, но он будет смотреться действительно захватывающе. Ведь при каждом прикосновении плитка будет менять свой узор и будет каждый раз превращаться во что-то новое.

² Напыление и утепление пеной ППУ [Электронный ресурс]. – URL: <https://ruden-pro.ru/uteplenie-penopoliuretanom-ppu> (дата обращения: 23.07.2022)

³ Пластмигран — характеристики строительного материала [Электронный ресурс]. – URL: <https://moscowsad.ru/plastmigran-xarakteristiki-stroitel'nogo-materiala.html> (дата обращения: 22.07.2022)



Рис. 8. Гибкая черепица⁴



Рис. 9. Гибкое дерево WoodSkin⁵



Рис. 10. Отделка стен тканью, кожей [23]



Рис. 11. Жидкая плитка [23]

Выводы

Анализируя уровень инноваций в строительной отрасли можно сделать вывод, что с каждым годом очень консервативная строительная индустрия меняется все больше и больше. В том числе, это касается и строительных материалов. Благодаря развитию науки создаются уникальные строительные материалы, которые позволяют воплотить в жизнь даже самые смелые технические и архитектурные идеи. Уже появляются предложения использовать ранее не мыслимые для строительства материалы: свет [24], лед [25], ядовитое растение борщевик [5, 6], осадки сточных вод [9] и др.

Главное преимущество использования инновационных строительных материалов – их уникальные характеристики, которые во многом превышают «традиционные» строительные материалы. К сожалению, большинство из них заметно дороже, поэтому они не так широко применяются в строительстве.

В ближайшее время тренд на инновационные строительные материалы будет только набирать обороты. Множество материалов могли бы и сейчас эффективно и безболезненно заменить уже устаревшие, но они не имеют широкой рекламной кампании. Кроме того, их использованию препятствует отсутствие нормативной базы, которая допускает или косвенно ограничивает их применение.

⁴ Гибкая керамика [Электронный ресурс]. – URL: <https://sadovodka.ru/posts/8329-gibkaja-keramika.html> (дата обращения: 28.07.2022)

⁵ Reign restaurant [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.wood-skin.com/references/reign-restaurant> (дата обращения: 22.07.2022)

Библиографический список

1. Моргун Л.В., Моргун В.Н. Фибропенобетон - современный инновационный строительный материал // В сборнике: Современные задачи инженерных наук. сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума, Москва, 11-12 октября 2017. Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина. 2017. С. 251-255. EDN: ZTJKBF.
2. Вышеслава Н.А. Обзор инноваций в строительной индустрии // Университетская наука. 2020. № 2 (10). С. 26-30. EDN: XWYMIG.
3. Muratova A., Ptukhina I. BIM as an instrument of a conceptual project cost estimation // Proceedings of ECE 2019. Energy, Environmental and Construction Engineering. Cham, 2020. С. 469-477. DOI: 10.1007/978-3-030-42351-3_41 EDN: MCOSCC.
4. Момункулов М.Б., Ахмадиев А.А. Инновационные строительные материалы // В сборнике: Избранные доклады 63-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых учёных, Томск, 20 апреля 2017. Томский государственный архитектурно-строительный университет. 2017. С. 706-709. EDN: YQHFFF.
5. Мусорина Т.А., Петриченко М.Р., Заборова Д.Д., Гамаюнова О.С., Куколев М.И. Улучшение свойств бетонного композита, армированного сухой растительной добавкой // Строительство и техногенная безопасность. 2021. № 22 (74). С. 57-65. DOI: 10.37279/2413-1873-2021-22-57-65 EDN: KELGCY.
6. Musorina T., Zaborova D., Petrichenko M., Stolyarov O. Flexural properties of hogweed chips reinforced cement composites // Magazine of Civil Engineering. 2021. № 7 (107). С. 10709. DOI: 10.34910/MCE.107.9 EDN: PCUAPH.
7. Barabanshchikov Y., Usanova K. Influence of high-calcium oil shale ash additive on concrete properties // Proceedings of ECE 2020. Energy, Environmental and Construction Engineering. Cham, 2021. С. 23-34. DOI: 10.1007/978-3-030-72404-7_3 EDN: LNFFQP.
8. Usanova K., Barabanshchikov Y.G. Cold-bonded fly ash aggregate concrete // Magazine of Civil Engineering. 2020. № 3 (95). С. 104-118. DOI: 10.18720/MCE.95.10 EDN: RQVUGR.
9. Чулкова И.Л., Смирнова О.Е., Красова А.В. Применение осадков сточных вод в производстве бетона // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2021. Т. 18. № 5 (81). С. 566-575.
10. Тычинина А.М. Сера как добавка в строительные материалы // В сборнике: Дни студенческой науки. Сборник докладов научно-технической конференции. Москва, 01-05 марта 2021. М: МГСУ. 2021. С. 207-209. EDN: EZIUDO.
11. Ньят Тхюи З.Л., Епишкин Н.А., Балабанов В.Б., Барышок В.П. Высокопрочные и морозостойкие бетоны с применением технической серы // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2018. Т. 8. № 3 (26). С. 122-129. EDN: YLSWHZ.
12. Мещеряков С.М., Антоненко Н.А. Опыт использования отходов строительной отрасли при получении инновационных материалов // В книге: Новые технологии в учебном процессе и производстве. Материалы XVIII Международной научно-технической конференции, Рязань, 17-19 апреля 2019. Рязанский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет». 2020. С. 175-176. EDN: VYNYGB.
13. Колодяжный С.А., Золотухин С.Н., Абраменко А.А., Артемова Е.А. Снос зданий и использование материалов, образующихся при реновации городских территорий // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 2. С. 271-293. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.271-293 EDN: OFYCLZ.
14. Каряев С.Б., Тускаева З.Р., Музаева М.Г. Анализ использования местных добавок и отходов в производстве строительных материалов // Инженерный вестник Дона. 2021. № 2 (74). С. 294-302. EDN: PCXXRA.

15. Федюк Р.С., Кузьмин Д.Е., Батаршин В.О., Тимохин Р.А., Гиневский В.С. Электропроводящие бетоны для специальных сооружений // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. 2017. № 1. С. 51-57. EDN: ZXNRXN.
16. Воронин А.С., Усанова К.Ю. Применение светопрозрачного бетона при строительстве // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Санкт-Петербург, 26–30 апреля 2021. СПб: СПбПУ. 2021. С. 129-131. EDN: IWPTQW.
17. Гаевская З.А. Принципы ресурсосбережения в строительстве и архитектуре // В сборнике: Ресурсосбережение и экология строительных материалов, изделий и конструкций. сборник научных трудов 3-й Международной научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. Курск, 01 октября 2020. Юго-Западный государственный университет. 2020. С. 40-41. EDN: ZBSZJK.
18. Zubarev K., Gagarin V. Mathematical modeling of heat and moisture regimes of building for the facade thermal insulation composite system with mineral wool insulation // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2022. Т. 247. С. 625-634. DOI: 10.1007/978-981-16-3844-2_54 EDN: DYJJSQ.
19. Zubarev K., Gagarin V. Heat and moisture regimes in the facade thermal insulation composite system with polystyrene insulation // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Т. 247. С. 247-255. DOI: 10.1007/978-3-030-80946-1_25 EDN: PLRUUF.
20. Каримова А.А., Терех М.Д. Оптимизационная модель обоснования уровня тепловой защиты зданий // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Сборник материалов Всероссийской конференции, Санкт-Петербург, 04-10 апреля 2022. СПб: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС. 2022. С. 391-393. EDN: LLYIGL.
21. Веселова К.А. Нанотехнологии и перспективы их применения в строительстве // Инженерные исследования. 2021. № 1 (1). С. 26-32. EDN: XPFUCH.
22. Окладникова Е.В., Левчук А.В. Применение инновационных строительных материалов для повышения энергоэффективности зданий и сооружений // В сборнике: Строительство и природообустройство: наука, образование и практика. Материалы всероссийской конференции с международным участием, Благовещенск, 03 ноября 2021. Дальневосточный государственный аграрный университет. 2021. С. 61-67. EDN: GXBCMR.
23. Петров О.В. Современные отделочные материалы в дизайне интерьера // Инженерные исследования. 2021. № 3 (3). С. 22-27. EDN: MTSMZY.
24. Горева О.В., Кашин Г.И., Олехнович Я.А. Свет как строительный материал // В сборнике: Неделя науки ИСИ. сборник материалов всероссийской конференции. В 3 ч., Санкт-Петербург, 26-30 апреля 2021. СПб: СПбПУ. 2021. С. 270-272. EDN: XEDGRO.
25. Гаврильев И.М., Барабанчиков Ю.Г. Применения льда как строительного материала В сборнике: Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия, Комсомольск-на-Амуре, 29-30 ноября 2018. Комсомольский-на-Амуре государственный университет. 2019. С. 178-182. EDN: QESTPE.
26. Бушманова А.В., Виденков Н.В., Доброгорская Л.В., Семенов К.В., Федотов В.В. Инновационные материалы на основе аэрогеля в строительстве // AlfaBuild. 2017. № 1 (1). С. 89-98. EDN: RUNYXV
27. Чакин Е.Ю. Энергоэффективные теплоизоляционные материалы для ограждающих стеновых конструкций // Инженерные исследования. 2022. № 1 (6). С. 9-18. EDN: GYDSPL.
28. Шакирова А., Терех М.Д. Использование аэрогеля в фасадных и светопрозрачных конструкциях // В сборнике: Неделя науки ИСИ. сборник материалов Всероссийской конференции, Санкт-Петербург, 04-10 апреля 2022. СПб: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС. 2022. С. 184-185. EDN: BRYHQZ.

References

1. Morgun L.V., Morgun V.N. Fiber foam concrete - a modern innovative building material // In: Modern tasks of engineering sciences. collection of scientific papers of the International Scientific and Technical Symposium, Moscow, October 11-12, 2017. Russian State University. A.N. Kosygin. 2017. Pp. 251-255. EDN: ZTJKBF.
2. Vysheslavova N.A. Review of innovations in the construction industry // Universitetskaya nauka. 2020. No. 2 (10). Pp. 26-30. EDN: XWYMIG.
3. Muratova A., Ptukhina I. BIM as an instrument of a conceptual project cost estimation // Proceedings of EECE 2019. Energy, Environmental and Construction Engineering. Cham, 2020, Pp. 469-477. DOI: 10.1007/978-3-030-42351-3_41 EDN: MCOSCC.
4. Momunkulov M.B., Akhmadiev A.A. Innovative building materials // In the collection: Selected reports of the 63rd University Scientific and Technical Conference of Students and Young Scientists, Tomsk, April 20, 2017. Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2017. Pp. 706-709. EDN: YQHFFF.
5. Musorina T.A., Petrichenko M.R., Zaborova D.D., Gamayunova O.S., Kukolev M.I. Improving the properties of a concrete composite reinforced with a dry plant additive // Construction and technogenic safety. 2021. No. 22 (74). Pp. 57-65. DOI: 10.37279/2413-1873-2021-22-57-65 EDN: KELGCY.
6. Musorina T., Zaborova D., Petrichenko M., Stolyarov O. Flexural properties of hogweed chips reinforced cement composites // Magazine of Civil Engineering. 2021. No. 7 (107). P. 10709. DOI: 10.34910/MCE.107.9 EDN: PCUAPH.
7. Barabanshchikov Y., Usanova K. Influence of high-calcium oil shale ash additive on concrete properties // Proceedings of EECE 2020. Energy, Environmental and Construction Engineering. Cham, 2021, Pp. 23-34. DOI: 10.1007/978-3-030-72404-7_3 EDN: LNFFQP.
8. Usanova K., Barabanshchikov Y.G. Cold-bonded fly ash aggregate concrete // Magazine of Civil Engineering. 2020. No. 3 (95). Pp. 104-118. DOI: 10.18720/MCE.95.10 EDN: RQVUGR.
9. Chulkova I.L., Smirnova O.E., Krasova A.V. The use of sewage sludge in the production of concrete // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. 2021. V. 18. No. 5 (81). Pp. 566-575.
10. Tychinina A.M. Sulfur as an additive in building materials // In the collection: Days of student science. Collection of reports of scientific and technical conference. Moscow, March 01-05, 2021. M: MGSU. 2021. Pp. 207-209. EDN: EZIUOD.
11. Nyat Thuy Z.L., Epishkin N.A., Balabanov V.B., Baryshok V.P. High-strength and frost-resistant concretes with the use of technical sulfur // Izvestiya vuzov. Investments. Construction. Real estate. 2018. V. 8. No. 3 (26). Pp. 122-129. EDN: YLSWHZ.
12. Meshcheryakov S.M., Antonenko N.A. Experience in the use of waste from the construction industry in obtaining innovative materials // In: New technologies in the educational process and production. Proceedings of the XVIII International Scientific and Technical Conference, Ryazan, April 17-19, 2019. Ryazan Institute (branch) of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow Polytechnic University". 2020. Pp. 175-176. EDN: VYNYGB.
13. Kolodyazhny S.A., Zolotukhin S.N., Abramenko A.A., Artemova E.A. Demolition of buildings and the use of materials formed during the renovation of urban areas // Vestnik MGSU. 2020. V. 15. No. 2. Pp. 271-293. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.271-293 EDN: OFYCLZ.
14. Karyaeв S.B., Tuskaeva Z.R., Muzaeva M.G. Analysis of the use of local additives and waste in the production of building materials // Engineering Bulletin of the Don. 2021. No. 2 (74). Pp. 294-302. EDN: PCXXRA.

15. Fedjuk R.S., Kuzmin D.E., Batarshin V.O., Timokhin R.A., Ginevskii V.S. Electrically conductive concrete for special structures // Safety of the construction fund of Russia. Problems and solutions. 2017. No. 1. Pp. 51-57. EDN: ZXNRXN.
16. Voronin A.S., Usanova K.Yu. The use of translucent concrete in construction // In: ISI Science Week. Materials of the All-Russian conference in 3 parts. Institute of Civil Engineering, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, April 26–30, 2021. St. Petersburg: SPbPU. 2021, Pp. 129-131. EDN: IWPTQW.
17. Gaevsкая Z.A. Principles of resource saving in construction and architecture // In: Resource saving and ecology of building materials, products and structures. collection of scientific papers of the 3rd International Scientific and Practical Conference. Southwestern State University. Kursk, October 01, 2020. Southwestern State University. 2020. Pp. 40-41. EDN: ZBSZJK.
18. Zubarev K., Gagarin V. Mathematical modeling of heat and moisture regimes of building for the facade thermal insulation composite system with mineral wool insulation // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2022. V. 247. Pp. 625-634. DOI: 10.1007/978-981-16-3844-2_54 EDN: DYJJSQ.
19. Zubarev K., Gagarin V. Heat and moisture regimes in the facade thermal insulation composite system with polystyrene insulation // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. V. 247. Pp. 247-255. DOI: 10.1007/978-3-030-80946-1_25 EDN: PLRUUF.
20. Karimova A.A., Terekh M.D. Optimization model for justifying the level of thermal protection of buildings // In the collection: Week of Science ISI. Collection of materials of the All-Russian Conference, St. Petersburg, April 04-10, 2022. St. Petersburg: POLYTECH-PRESS. 2022, Pp. 391-393. EDN: LLYIGL.
21. Veselova K.A. Nanotechnologies and prospects for their application in construction // Engineering Research. 2021. No. 1 (1). Pp. 26-32. EDN: XPFUCH.
22. Okladnikova E.V., Levchuk A.V. The use of innovative building materials to improve the energy efficiency of buildings and structures // In the collection: Construction and environmental management: science, education and practice. Materials of the All-Russian Conference with international participation, Blagoveshchensk, November 03, 2021. Far Eastern State Agrarian University. 2021, Pp. 61-67. EDN: GXBCMR.
23. Petrov O.V. Modern finishing materials in interior design // Engineering Research. 2021. No. 3 (3). Pp. 22-27. EDN: MTSMZY.
24. Goreva O.V., Kashin G.I., Olekhovich Ya.A. Light as a building material // In the collection: ISI Science Week. collection of materials of the all-Russian conference. At 3 o'clock, St. Petersburg, April 26-30, 2021. St. Petersburg: SPbPU. 2021, Pp. 270-272. EDN: XEDGRO.
25. Gavriliev I.M., Barabanshchikov Yu.G. Applications of ice as a building material In the collection: Regional aspects of the development of science and education in the field of architecture, construction, land management and cadastres at the beginning of the III millennium, Komsomolsk-on-Amur, November 29-30, 2018. Komsomolsk-on-Amur State University. 2019. Pp. 178-182. EDN: QESTPE.
26. Bushmanova A.V., Videnkov N.V., Dobrogorskaya L.V., Semenov K.V., Fedotov V.V. Innovative materials based on airgel in construction // AlfaBuild. 2017. No. 1 (1). Pp. 89-98. EDN: RUNYXV.
27. Chakin E.Yu. Energy-efficient heat-insulating materials for enclosing wall structures. Inzhenernye issledovaniya. 2022. No. 1 (6). Pp. 9-18. EDN: GYDSPL.
28. Shakirova A., Terekh M.D. The use of airgel in facade and translucent structures // In: ISI Science Week. collection of materials of the All-Russian Conference, St. Petersburg, April 04-10, 2022. St. Petersburg: POLYTECH-PRESS. 2022. Pp. 184-185. EDN: BRYHQZ.

*Воронежский государственный
технический университет
Канд. техн. наук, доцент А.В. Еремин;
Россия, г. Воронеж, тел. +7-910-346-95-87
e-mail: bora.av@mail.ru
Канд. техн. наук, доцент
В.П. Волокитин;
Россия, г. Воронеж, тел. +7-910-343-59-37
e-mail: nova.vp@mail.ru
Студент группы МТПАД221 Н.В. Дронов
Россия, г. Воронеж
e-mail: dronov-n@bk.ru*

*Voronezh state technical University
Cand. of Tech. Science, Associate prof.
A.V. Eremin;
Russia, Voronezh, tel. +7-910-346-95-87
e-mail: bora.av@mail.ru
Cand. of Tech. Science, Associate prof.
V.P. Volokitin;
Russia, Voronezh, tel. +7-910-343-59-37
e-mail: nova.vp@mail.ru
Undergraduate MTPAD221 N.V. Dronov
Russia, Voronezh
e-mail: dronov-n@bk.ru*

А.В. Еремин, В.П. Волокитин, Н.В. Дронов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ MIDAS CIVIL

В статье рассмотрено поэтапное моделирование и расчет пролетного строения в программном комплексе Midas Civil. В результате расчетов был проведен анализ конечно-элементной модели балочного моста с подвижными нагрузками АК-14, НК-14 и пешеходной, а также вывод результатов.

Ключевые слова: пролетное строение, программный комплекс, подвижная нагрузка, метод конечных элементов.

A.V. Eremin, V.P. Volokitin, Dronov N.V.

SIMULATION OF THE SPAN STRUCTURE IN THE MIDAS CIVIL SOFTWARE COMPLEX

The article considers the stage-by-stage modeling and calculation of the span structure in the Midas Civil software package. As a result of the calculations, an analysis of the finite element model of a beam bridge with moving loads AK-14, NK-14 and a pedestrian was carried out, as well as the conclusion of the results.

Key words: span structure, software package, moving load, finite element method.

Программа Midas Civil позволяет выполнить расчет пролетного строения мостового сооружения. Концепция программы заключается в автоматизации проверок. Последовательность выполнения расчета пролетного строения имеет следующий вид: создание и расчет модели пролетного строения с заданными сочетаниями нагрузок, исходными данными для проверок, а также анализ полученных результатов [3].

Выполнен расчет пролетного строения с расчетной длиной $l_p = 20,4$ м под подвижные нагрузки АК-14 и НК-14 в ПК Midas Civil.

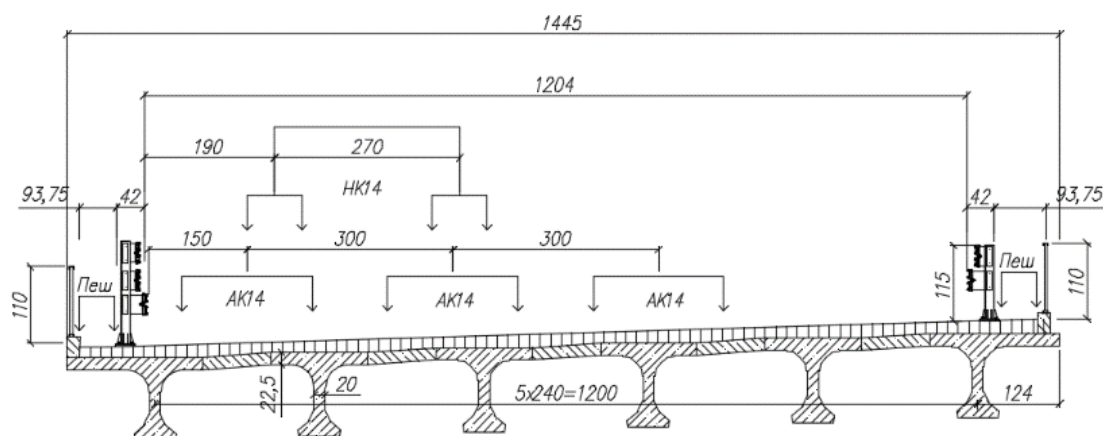


Рис. 1. Схема пролета моста. Размеры указаны в см

Пролетное строение состоит из шести объединенных железобетонных балок. Схема пролетного строения в программе Midas Civil состоит из продольных и поперечных балок (стержней), которые объединяются узлами. Расчетная схема представляет собой сложную стержневую конструкцию, воспринимающую все виды постоянных и временных нагрузок. Схему можно смоделировать в ПК Midas Civil, либо импортировать из программы AutoCad.

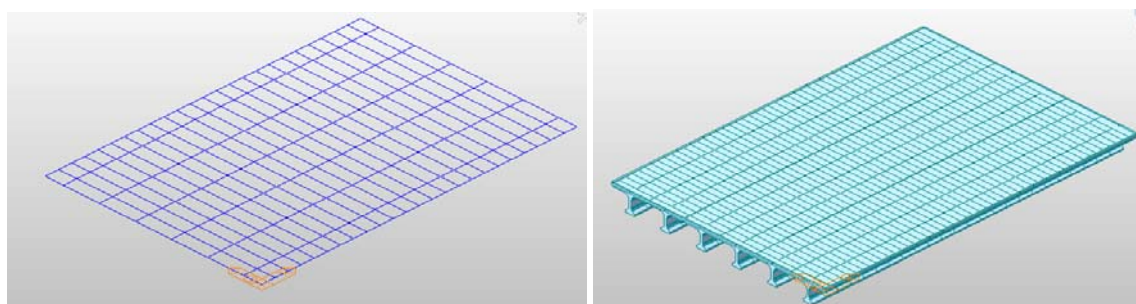


Рис. 2. Общий вид расчетной схемы в ПК Midas Civil

ПК Midas Civil позволяет аппроксимировать модель сооружения и определить усилия на основе метода конечных элементов. Моделируя пролетное строение для определения расчетных сочетаний усилий необходимо задать параметры главных балок.

Сечение главных балок пролетного строения с необходимыми геометрическими параметрами получаем при помощи инструмента «Свойства сечения». Здесь же задаются параметры и для плиты проезжей части пролетного строения.

Для полученных сечений необходимо задать материал. В данном случае, это будет бетон марки В30. Материал задается при помощи инструмента «Свойства материала». Для поперечных балок задается бетон марки В30 без учета его веса.

После того, как были заданы свойства материала и сечение элементов схемы, необходимо задать степени свободы опорных частей через инструмент «Граничные условия».

При расчете пролетного строения моста используются постоянные и временные нагрузки.

Расчет пролетного строения производится с постоянными статическими (собственный вес конструкции, вес выравнивающего и гидроизоляционного слоя, вес асфальтобетонного покрытия, вес перильного и барьерного ограждений) и временными подвижными (тележки АК и НК, пешеходная нагрузка) загрузками.

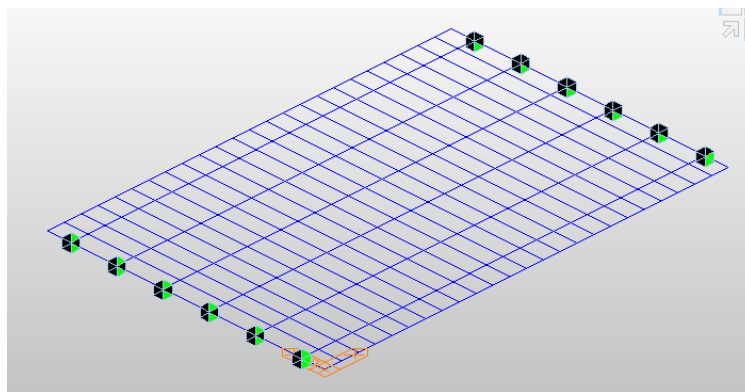


Рис. 3. Граничные условия пролетного строения

Используемый для вычисления усилий ПК Midas Civil на основе данных о расположении полос нагрузки автоматически строит и загружает линии и поверхности. Это обеспечивает определение невыгодных положений временных подвижных нагрузок для каждого элемента.

При расчете были рассмотрены следующие сочетания постоянных и временных нагрузок.

I сочетание: собственный вес конструкции, вес выравнивающего и гидроизоляционного слоя, вес асфальтобетонного покрытия, вес перильного и барьерного ограждений, нормативная нагрузка от тележки АК-14 и пешеходов.

II сочетание: собственный вес конструкции, вес выравнивающего и гидроизоляционного слоя, вес асфальтобетонного покрытия, вес перильного и барьерного ограждений, расчетная нагрузка от тележки АК-14 и пешеходов.

III сочетание: собственный вес конструкции, вес выравнивающего и гидроизоляционного слоя, вес асфальтобетонного покрытия, вес перильного и барьерного ограждений, нагрузка от тележки НК-14 [1].

После того, как были заданы постоянные и временные нагрузки, схему пролетного строения можно запускать на расчет.

В результате расчета для каждого элемента пролетного строения получены значения напряжений и усилий [4].

Наибольшие максимальные усилия возникают в середине пролета от воздействий II-го сочетания нагрузок.

Максимальное значение опорной реакции от собственного веса и временной подвижной нагрузки составляет: 83,0 т

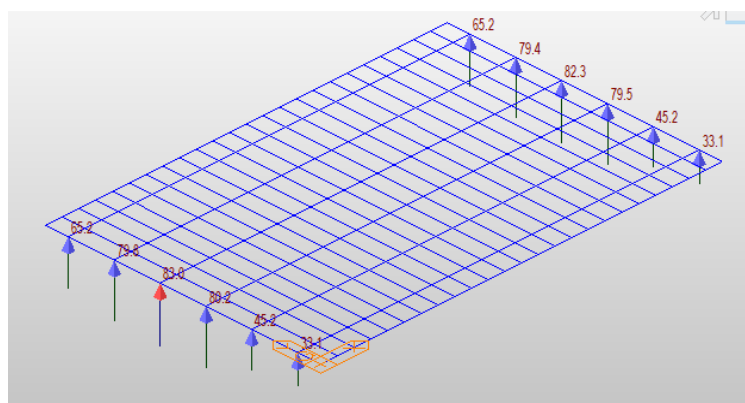


Рис. 4. Реакции в постоянных опорных частях от собственного веса и временной подвижной нагрузки (т)



Рис. 5. Эпюра момента M_y от воздействий II-го сочетания нагрузок

По результатам расчета получаем значение максимального момента $M_y = 352,50 \text{ т*м}$

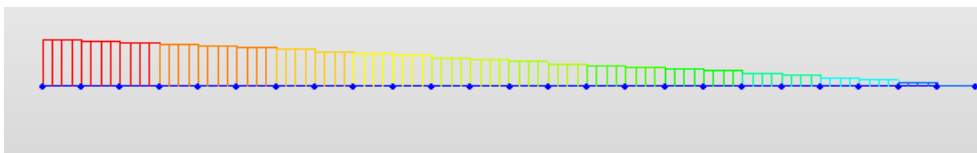


Рис. 6. Эпюра максимальных продольных усилий от воздействий II-го сочетания нагрузок

По результатам расчета получаем значение максимального момента $F_z = 69,72 \text{ т*м}$

Программный комплекс Midas Civil позволяет проверять сечения элементов по прочности и выносливости в соответствии с российскими нормами. По результатам расчета выполнены все проверки самых нагруженных элементов. Все проверки выполнены и проходят с запасом [2].

Библиографический список

1. СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*».
2. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Кононович В.И. Оценка достоверности численных расчетов при проектировании: доверять или не доверять компьютерам? // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: Материалы международной научно-практической конференции. Пермь: Изд-во Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2012.
3. Петров В.А. Как выбрать программу для расчета мостов // Дороги. Красная линия. 2014.
4. Быкова Н.М. Проектирование мостов. Расчет пролетного строения балочного железобетонного моста: учеб. пособие. Иркутск: 2014.

References

1. SP 35.13330.2011 "Bridges and pipes. Updated edition of SNiP 2.05.03-84*".
2. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Kononovich V.I. Assessing the reliability of numerical calculations in the design: to trust or not to trust computers? // Modernization and scientific research in the transport sector: Proceedings of the international scientific and practical conference. Perm: Publishing House of the Perm National Research Polytechnic University, 2012.
3. Petrov V.A. How to choose a program for calculating bridges // Roads. Red line. 2014.
4. Bykova N.M. Bridge design. Calculation of the span structure of a beam reinforced concrete bridge: textbook. allowance. Irkutsk: 2014.

*Воронежский государственный
технический университет
Магистрант кафедры «Технологии строи-
тельных материалов изделий и конструк-
ций»*

Хадж Хамди Капа Валид

Россия, г. Воронеж, тел. +7 (900) 964-94-98

e-mail: kapa.h100@yahoo.com

*к.т.н., доцент кафедры «Технологии
строительных материалов изделий и кон-
струкций»*

Усачев Александр Михайлович

Россия, г. Воронеж, тел. +7 (473) 271-59-26

e-mail: usachevam@vgasu.vrn.ru

Voronezh State Technical University

*Master student of the department of Technol-
ogies of building materials of products and
structures*

Khadj Khamdi Kapa Walid

Russia, Voronezh, tel. +7 (900) 964-94-98

e-mail: kapa.h100@yahoo.com

*Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor of the Department of Technologies
of building materials of products and struc-
tures*

Usachev Alexander Mikhailovich

Russia, Voronezh, tel. +7 (473) 271-59-26

e-mail: usachevam@vgasu.vrn.ru

К.В. Хадж Хамди, А.М. Усачев

ИССЛЕДОВАНИЕ РЫНКА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ И АКУСТИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Теплоизоляционные материалы применяются для уменьшения тепло-
потерь в ограждающих конструкциях, промышленного, энергетического
оборудования, в тепловых установках и трубопроводах. Война и экономиче-
ские условия в Сирийской Арабской Республике привели к необходимости
поиска решений по снижению расхода топлива и рационализации использо-
вания энергоресурсов. Применение теплоизоляции в реконструируемых или
вновь строящихся зданиях является идеальным решением для снижения
расхода топлива и обеспечения комфортных условий проживания, при этом
экономия электроэнергии может достигать 40%, а топлива – 60%.

Ключевые слова: Сирийская Арабская Республика, теплоизоляция, теплоизоляционные ма-
териалы, акустические материалы, сохранение энергоресурсов.

K.W. Khadj Khamdi, A.M. Usachev

RESEARCH OF THE MARKET OF THERMAL INSULATION AND ACOUSTIC BUILDING MATERIALS IN THE SYRIAN ARAB REPUBLIC

Thermal insulation materials are used to reduce heat loss in the enclosing
structures of industrial, power equipment in thermal devices and heat pipelines.
The war and economic conditions in the Syrian Arab Republic have led to the
need to find solutions to reduce fuel consumption and use of energy resources.
The use of thermal insulation in renovated or newly built buildings is the ideal so-
lution to reduce fuel consumption and ensure comfortable living conditions, while
saving electricity can reach 40%, and fuel - 60%.

Keywords: Syrian Arab Republic, thermal insulation, thermal insulation materials, soundproofing
materials, conservation of energy resources.

Введение

Теплоизоляционными называют материалы и изделия, препятствующие перемещению тепловых потоков через строительные ограждающие конструкции (стены, крыша, полы), технологическое оборудование, трубопроводы, тепловые и холодильные установки. Для них характерна высокая пористость, низкие средняя плотность и малая теплопроводность [1].

Акустические материалы являются родственными по отношению к теплоизоляционным. И тем и другим материалам необходима высокая пористость. Однако в связи с тем, что природа воздействия теплового и звукового потоков различна, характер оптимальной структуры у них различается [2].

Чтобы обогреть сотни миллионов квадратных метров не утепленных или плохо утепленных жилищ во многих странах мира, в том числе в Сирийской Арабской Республике необходимо тратить огромные средства на топливо, да и запасы данного ископаемого не бесконечны. К тому же, в последнее время усилилось антропогенное воздействие на окружающую среду, прогрессирующее развитие "парникового эффекта", не в последнюю очередь вызванное выбросами от сжигания угля, нефти и прочих энергоносителей. Поэтому приходится искать новые эффективные материалы и способы теплоизоляции. После введения новых строительных норм, ужесточивших требования по теплозащите, правильное применение качественной теплоизоляции стало насущной необходимостью.

Задачи теплоизоляционного и акустического слоя.

Обеспечение комфорта - существует три основных показателя для обеспечения комфортного проживания в помещении (тепловой, влажностный и акустический). Среди множества современных теплоизоляционных материалов далеко не все обладают набором свойств, позволяющим максимально эффективно обеспечивать комфортное проживание по всем трем показателям одновременно.

На рисунке 1 показано условия обеспечения комфортных условий в помещении.

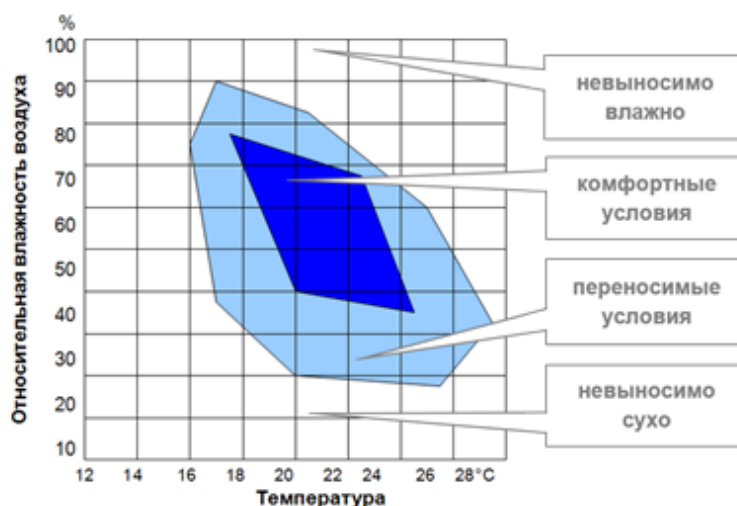


Рис. 1. Зоны комфортных условий в помещении

Сокращение теплопотерь - вторая задача теплоизоляционного материала - сокращение теплопотерь. Недостаток природных ресурсов и энергии, а также проблема глобального потепления увеличивают потребность в устранении тепловых потерь через ограждающие конструкции. Потери тепла происходят через все ограждающие конструкции здания в следующем соотношении:

Стены — до 18 %; Крыша — до 12 %; Окна и двери — до 20 %; Подвал — до 17 %; и Вентиляция — до 33 % [2, 3].

Способность материала проводить теплоту выражается коэффициентом теплопроводности: λ (Вт/м·°С), чем он выше, тем больше теплоты теряется.

Термическое сопротивление конструкции определяется по формуле [4]:

$$R = \delta / \lambda \text{ (м}^2 \cdot \text{°С/Вт)}$$

δ — толщина материала (м), λ — теплопроводность материала.

Чем больше величина сопротивления R , тем эффективнее теплоизоляционный материал, а значит, получится более энергоэффективный дом.

Регулирование влажности внутри помещения — один из естественных способов регулировать влажность внутри помещения — сделать «дышащие стены». Эти стены пропускают насыщенный влагой воздух из помещения наружу и тем самым регулируют влажностный режим помещения без дополнительной вентиляции.

Экономия энергоресурсов - Применение теплоизоляционных материалов позволяет значительно экономить ресурсы. Теплоизоляция ограждающих конструкций сокращает энергозатраты на отопление здания до 70 % в год. Теплоизоляция позволяет уменьшить толщину ограждающей конструкции, тем самым, снизить нагрузку на несущие конструкции и сократить расходы на фундамент. Применение теплоизоляционных материалов также положительно сказывается и на сроках строительства.

Рынок теплоизоляционных и акустических материалов в Сирийской Арабской Республике. Сирийский рынок считается одним из слабых рынков с точки зрения использования теплоизоляционных и акустических материалов. Столь слабое применение теплозвукоизоляционных материалов при строительстве различных зданий обусловлено рядом причин, в том числе:

1. Умеренный климат и четкое проявление четырех сезонов с относительно холодными зимами, при которых температура не опускается ниже (-4) °С.
2. До войны топливо для отопления было доступно по низкой стоимости, что отодвигало на второй план применение теплоизоляционных материалов.
3. Использование теплоизоляционных материалов очень дорого, потому что они импортируются, а не производятся в самой стране.
4. Отсутствие национальных стандартов и рекомендаций по применению теплоизоляционных и акустических материалов при строительстве зданий, так как первый четкий кодекс появился только в 2007 г.

В последние годы в результате военных действий в Сирии и геополитических и экономических изменений направление роста применения теплоизоляционных материалов на сирийском рынке изменилось, так как применение теплоизоляционных материалов увеличилось в 2020 году на 50 % по сравнению с 2008 г. [5, 6]. На рис. 2 показано годовое изменение количества теплоизоляционных материалов, используемых на сирийском рынке в предыдущие годы [6, 7].

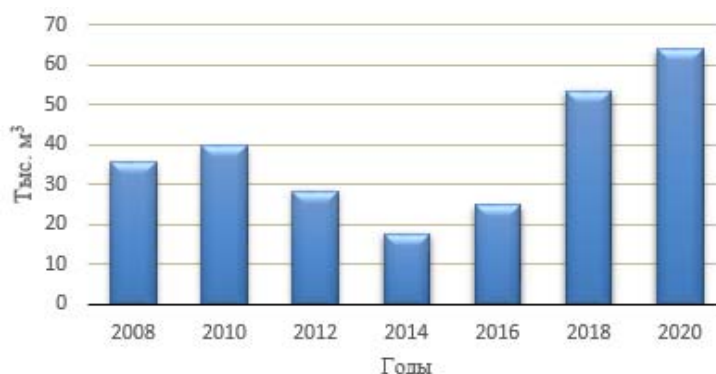


Рис. 2. Количества теплоизоляционных материалов на сирийском рынке

Использование теплоизоляции в целом и в Сирийской Арабской Республике в частности имеет множество преимуществ и выгод:

1. Поддержание подходящей температуры в помещениях летом и зимой.
2. Рационализация потребления электроэнергии и снижение нагрузки на электростанции до 30-40 % [1, 3].
3. Сокращение потребления топлива до 50-60 % [3, 4].
4. Поддержка здоровья пользователей здания и чувство комфорта. Уменьшение работы кондиционеров из-за их некоторого вреда для здоровья человека, а также уменьшение шума, возникающего при работе некоторых из них.
5. Уменьшение толщины ограждающих конструкций, что экономит ресурсы на строительство.

Виды теплоизоляции, доступные на сирийском рынке. В связи с отсутствием экономической целесообразности применения теплоизоляционных материалов в Сирии ранее, все изоляционные материалы импортируются, а не производятся в стране. Страны Ближнего Востока являются первыми поставщиками с долей около 45 %, за ними следует Китай с 35 %, затем Турция и остальные страны с 20 %. Минеральная вата считается наиболее распространенной среди изоляционных материалов, применяемых в Сирийской Арабской Республике, так как является дешевой и не требует специального оборудования или технических знаний при ее применении.

Пенополистирол также считается одним из теплоизоляционных материалов с широким применением в Сирии, а другие пенопласты и асбестоцемент также доступны на сирийском рынке. На рис. 3 показано процентное соотношение различных теплоизоляционных материалов на сирийском рынке [5-7].

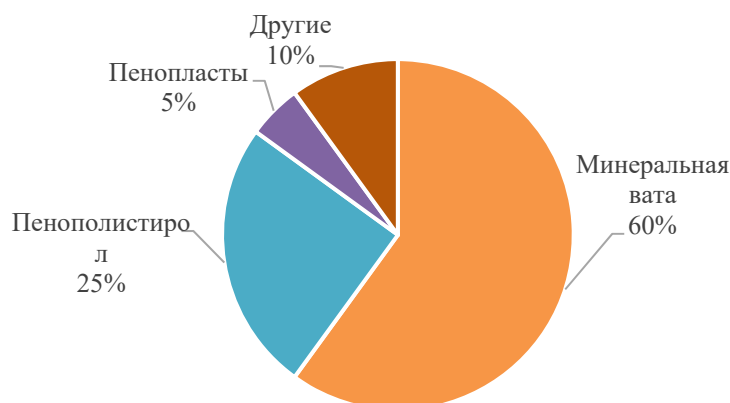


Рис. 3. Виды теплоизоляции, доступные на сирийском рынке

Выводы

В связи с текущими условиями в Сирийской Арабской Республике и большим количеством зданий, которые необходимо отремонтировать или перестроить, рынок теплоизоляционных материалов является одним из наиболее перспективных и важных рынков. Поэтому необходимо анализировать и контролировать этот рынок и использовать опыт других стран в этой области, таких как Российская Федерация.

Преимущества использования теплоизоляционных и акустических материалов должны быть доведены до сведения политиков, руководителей, строительных властей страны. Кроме того, должна быть проведена работа по активизации и актуализации применения стандартов и технических условий в области теплоизоляции. Это будет стимулировать промышленность и предоставит обществу инновационные решения.

Библиографический список

1. Киреева Ю.Г., Железнякова А.А. Теплоизоляционные материалы с повышенными эксплуатационными свойствами// Современные тенденции развития науки и технологий. 2015. № 7. С. 38–40.
2. Сергиенко А.В., Яцун И.В. Современные теплоизоляционные материалы: виды, свойства, применение// Научные исследования. 2017. Т.2. № 6. С. 9–12.
3. Семенцова А.М. Теплоизоляционные строительные материалы// Достижения науки и образования. 2019. № 2. С. 34–36.
4. Усачев А.М., Чернушкин О.А. Конструкционные, функциональные и специальные строительные материалы: учеб. пособие для магистрантов направления «Строительство» // Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т, 2010. – 245 с.
5. Mardelli R. T. Study the performance of some insulation materials to obtain an insulation material from local raw materials with good specifications // Faculty of Mechanical Engineering - Aleppo University. PhD thesis. 2018. P. 141.
6. Samani W. M. Rehabilitation of the proposed housing in a modern regulatory area for the requirements of the environment and renewable energy // Faculty of Architecture- Aleppo University. Master's thesis. 2015. P. 185.
7. Syrian Central Bureau of Statistics. [Электронный ресурс]. <https://b2b-sy.com/category/26/0/>. (дата обращения: 10.11.2022).

References

1. Kireeva Yu.G., Zheleznyakova A.A. Thermal insulation materials with improved performance properties // Modern trends in the development of science and technology. 2015. No. 7. Pp. 38 –40.
2. Sergienko A.V., Yatsun I.V. Modern thermal insulation materials: types, properties, applications // Scientific research. 2017. No. 6. Pp. 9 –12.
3. Sementsova A.M. Thermal insulation building materials // Achievements of science and education. 2019. No. 2. Pp. 34 –36.
4. Usachev A.M., Chernushkin O.A. Structural, functional and special building materials: textbook. manual for undergraduates of the direction "Construction" // Voronezh. state arch.-build. un-t, 2010. - 245 p.
5. Mardelli R. T. Study the performance of some insulation materials to obtain an insulation material from local raw materials with good specifications // Faculty of Mechanical Engineering - Aleppo University. PhD thesis. 2018. P. 141.
6. Samani W. M. Rehabilitation of the proposed housing in a modern regulatory area for the requirements of the environment and renewable energy // Faculty of Architecture- Aleppo University. Master's thesis. 2015. P. 185.
7. Syrian Central Bureau of Statistics. [Электронный ресурс]. <https://b2b-sy.com/category/26/0/>. (дата обращения: 10.11.2022).

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 620.19

*Воронежский государственный
технический университет
старший преподаватель кафедры «Жилищ-
но-коммунального хозяйства»
Лобанов Дмитрий Валерьевич
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-28-92
e-mail: ldv-36@mail.ru
старший преподаватель кафедры «Жилищ-
но-коммунального хозяйства»
Мерщев Александр Александрович
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-28-92
e-mail: sasha__1990@mail.ru
Военно-воздушная академия имени
профессора Н.Е. Жуковского
и Ю.А. Гагарина
к.т.н., доцент, начальник кафедры
Звенигородский Игорь Иванович
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)244-76-45
e-mail: zvendocent@mail.ru
к.т.н., доцент, профессор кафедры
Сафонов Сергей Александрович
Россия, г. Воронеж,
тел. +7(473)244-76-45
e-mail: vgasu.gkh@gmail.com*

*Voronezh State
Technical University
Senior Lecturer of the Department of Housing
and Communal Services
Lobanov Dmitry Valerievich
Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-28-92
e-mail: ldv-36@mail.ru
Senior Lecturer of the Department of Housing
and Communal Services
Mershev Alexander Alexandrovich
Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-28-92
e-mail: sasha__1990@mail.ru
Military Air Academy named after Professor
N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor, Head of Department
Zvenigorodskiy Igor Ivanovich
Russia, Voronezh, tel. +7(473)244-76-45
e-mail: zvendocent@mail.ru
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor, Professor of Department
Safonov Sergey Aleksandrovich
Russia, Voronezh, tel. +7(473)244-76-45
e-mail: vgasu.gkh@gmail.com*

Д.В. Лобанов, А.А. Мерщев, И.И. Звенигородский, С.А. Сафонов

ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЯ ЛАБОРАТОРИИ С РЕКОМЕНДАЦИЯМИ ПО ЕГО ДАЛЬНЕЙШЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Здание или сооружение имеет свой срок службы, который зависит от многих факторов. Существенное и определенное влияние оказывает своевременное и правильно выполняемое техническое обслуживание. Однако, если пренебрегать рекомендациями по обслуживанию и ремонту строительных конструкций, инженерных систем и т.д. в здании, то возможен его преждевременный износ, результатом которого будет невозможность его полноценной эксплуатации. Для того, чтобы «реанимировать» здание или сооружение необходимо провести тщательное и детальное обследование всех его частей и элементов с подготовкой заключения о проведении требуемого ремонта или реконструкции, в случае нецелесообразности проведения которых предстоит принять решение о возможном сносе. В статье рассматривается здание лаборатории, которое подлежит комплексному обследованию с подготовкой рекомендаций по его дальнейшей эксплуатации.

Ключевые слова: обследование здания, эксплуатация здания, техническое обслуживание, капитальный ремонт, реконструкция здания.

INSPECTION OF THE LABORATORY BUILDING WITH RECOMMENDATIONS FOR ITS FURTHER OPERATION

A building or structure has a service life that depends on many factors. Significant and certain influence has a timely and properly performed maintenance. However, if you neglect the recommendations for maintenance and repair of building structures, engineering systems, etc. in the building, it is possible its premature deterioration, the result of which will be the impossibility of its full operation. In order to "reanimate" a building or structure it is necessary to conduct a thorough and detailed examination of all its parts and elements with the preparation of a conclusion about the required repair or reconstruction, in the case of inexpediency of which the decision on possible demolition is to be made. The article deals with the laboratory building, which is subject to a comprehensive examination with the preparation of recommendations for its further operation.

Keywords: building survey, building operation, maintenance, overhaul, reconstruction of the building.

Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений включает следующие мероприятия: контрольно-инструментальные измерения строительных конструкций; визуальное обследование строительных конструкций зданий и сооружений с выявлением основных дефектов и/или повреждений и составлением ведомости дефектов; определение прочности и однородности бетона железобетонных конструкций зданий и сооружений; определение прочности на сжатие материалов каменной кладки стен зданий и сооружений механическим методом неразрушающего контроля; оценка надежности строительных конструкций зданий и сооружений; оценка технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений и так далее.

Результатом обследования служит составление отчета с выводами и рекомендациями по дальнейшей эксплуатации объекта. В данной статье рассмотрим выполнение обследования лаборатории - одноэтажное, прямоугольное в плане здание с размерами 12,0×30,0 м. Высота до низа несущих конструкций покрытия составляет 2,74 м. Конструктивная схема здания – сборный железобетонный каркас, выполненный по связевой схеме с шарнирным сопряжением ригелей с колоннами. Пространственная устойчивость здания обеспечивается изгибной жесткостью колонн и железобетонным диском покрытия. Каркас выполнен по [1] и состоит из двухпролетных поперечных рам, установленных с шагом 6 м. Общий вид здания представлен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид здания лаборатории

Фундаменты каркаса здания – отдельностоящие, железобетонные, стаканного типа. Размеры подошвы фундаментов 1,4×1,4 м. Глубина заложения подошвы фундаментов располагается на отм. -1,230 м. За отм. 0,000 м принят уровень чистого пола здания, который соответствует абсолютной отметке 109.50. Колонны каркаса здания – сборные, железобетонные по [2], прямоугольного сечения 400×400 мм. Колонны установлены с шагом 6,0 м. Основными несущими конструкциями покрытия здания являются сборные железобетонные ригели таврового сечения полкой вниз, выполненные по [3]. Высота ригелей составляет 450 мм. Покрытие обследуемого здания выполнено из сборных железобетонных многопустотных плит по [4] толщиной 220 мм, их опирание осуществляется на полки сборных железобетонных ригелей. Первоначально кровля здания была рулонной, однако в процессе эксплуатации по верх рулонной кровли выполнили чердачную, двухскатную крышу с наружным неорганизованным водостоком. Фактический общий состав кровельного покрытия, вскрытый на момент обследования, следующий: гидроизоляционный ковер 6 слоев общей толщиной 80 мм, асбестоцементная плита, утеплитель (шлак толщиной 140 мм), 1 слой пароизоляции. Элементы стропильной системы чердачной крыши выполнены из доски 50×100 и 50×140 мм. Средний шаг стропил 1150 мм, их опирание осуществляется на мауэрлаты, которые в свою очередь опираются на наружные кирпичные стены здания. Обрешетка крыши выполнена из доски толщиной 20 мм. Покрытие чердачной крыши выполнено из асбестоцементных волнистых листов. Ограждающие конструкции здания выполнены из навесных керамзитобетонных панелей толщиной 320 мм по [5], а также из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе. Толщина кирпичных наружных участков стен составляет 510 мм.

Крепление керамзитобетонных панелей стенового ограждения к железобетонным колоннам здания осуществляется при помощи сварки на закладных деталях. Перегородки в здании выполнены толщиной 120 мм из керамического кирпича на цементно-песчаном растворе. Полы большей части здания деревянные, а в помещениях непосредственно лаборатории – бетонные. Покрытие полов линолеум, в помещениях лаборатории – керамическая плитка. Полотна наружных дверей – стальные, а внутренних – деревянные. Заполнение оконных проемов выполнено из пластиковых и деревянных оконных переплетов с одинарным остеклением. Обследуемое здание отапливаемое, с организацией систем приточно-вытяжной вентиляции. Освещение – естественное и искусственное.

Категории технического состояния строительных конструкций здания определялись в соответствии с [6]. Оценка технического состояния строительных конструкций по внешним признакам выполнена по методике, изложенной в [7]. По результатам проведенного обследования установлено, что все дефекты и повреждения, обнаруженные в здании, в основном образовались в результате длительного срока эксплуатации и несвоевременного проведения планово-предупредительных ремонтов. Описание всех дефектов и повреждений с оценкой технического состояния приведено в таблице.

На основании результатов испытаний бетона неразрушающим методом контроля прочности прибором «ИПС-МГ4.03» установлено, что класс бетона по прочности:

- в колоннах здания лаборатории – В20;
- в ригелях здания лаборатории – В25;
- в плитах перекрытия здания лаборатории – В20.

На основании результатов испытаний прочности каменной кладки неразрушающим методом контроля прочности прибором «ИПС-МГ4.03» установлено, что марка силикатного кирпича участков стен здания лаборатории соответствует М75, а марка цементно-песчаного раствора – М25.

Согласно проведенной оценке надежности строительных конструкций установлено, что существует необходимость в проведении капитального ремонта здания лаборатории.

Поверочные расчеты строительных конструкций здания лаборатории показали, что несущая способность деревянных стропильных конструкций чердачной крыши здания лабора-

тории от действия фактических постоянных и временных нагрузок не обеспечена. Необходимо разработать и реализовать проект замены стропильных конструкций чердачной крыши здания.

На основании обнаруженных дефектов и повреждений можно сделать вывод о том, что техническое состояние строительных конструкций здания лаборатории согласно [6] – ограниченно-работоспособное.

Описание и расположение дефектов и/или повреждений с оценкой технического состояния конструкций по внешним признакам приведены в таблице.

Таблица

Ведомость дефектов и повреждений

№ п/п	Положение дефекта и (или) повреждения	Наименование дефекта и (или) повреждения	Категория состояния конструкции	Возможные причины появления	Примечание
1	Козырьки и порожки входных групп здания	Разрушение бетона, оголение и коррозия арматуры	Ограниченно-работоспособное состояние	Повреждение гидроизоляционного слоя, замачивание конструкции	Рис. 2
2	Чердачная крыша здания	Повреждение асбестоцементных волнистых листов, отсутствие пароизоляционной пленки, отсутствие огнебиозащитного покрытия элементов стропильной системы	Ограниченно-работоспособное состояние	Длительный срок эксплуатации, несвоевременное проведение планово-предупредительных ремонтов, нарушение правил строительно-монтажных работ	Рис. 3
3	На пересечении осей А/б	Замачивание плиты покрытия и утеплителя кровли здания	Ограниченно-работоспособное состояние	Повреждение асбестоцементных волнистых листов крыши здания	Рис. 4
4	Внутренние системы здания	Система вентиляции неисправна, а система отопления забита	Ограниченно-работоспособное состояние	Длительный срок эксплуатации, несвоевременное проведение планово-предупредительных ремонтов	Рис. 5
5	Отмостка по периметру здания	Повреждение отмостки	Ограниченно-работоспособное состояние	Длительный срок эксплуатации, несвоевременное проведение планово-предупредительных ремонтов	Рис. 6



а)



б)

Рис. 2. Разрушение бетона, оголение, коррозия арматуры козырьков (а) и порожек входных групп (б) здания



Рис. 3. Повреждение асбестоцементных волнистых листов, отсутствие пароизоляционной пленки, отсутствие огнебиозащитного покрытия элементов стропильной системы



Рис. 4. Замачивание плиты покрытия и утеплителя кровли здания



Рис. 5. Системы отопления и вентиляции неисправны



Рис. 6. Повреждение отмостки по периметру здания

В результате проведенного обследования установлено, что строительные конструкции здания имеют дефекты и повреждения. Таким образом, с учетом таблицы 1 и рис. 2-6 рекомендациями по дальнейшей эксплуатации строительных конструкций здания лаборатории могут быть следующие:

1. Демонтировать конструкции чердачной крыши здания;
2. Разработать и реализовать проект замены кровли здания с использованием современных строительных материалов;
3. Демонтировать существующие железобетонные козырьки входных групп здания;
4. Выполнить ремонт порожек входных групп здания;
5. Провести текущий ремонт внутренних помещений и фасадов здания, реализовав современный архитектурный облик здания;
6. Провести замену всех деревянных оконных переплетов и входных дверей здания;
7. Заменить системы отопления, вентиляции, водоснабжения и водоотведения;
8. Выполнить отмостку по периметру здания.

Библиографический список

1. Серия ИИ-04-0. Указания по применению изделий. Рабочие чертежи;
2. Серия ИИ-04-2 Сборные элементы зданий каркасной конструкции. Колонны. Рабочие чертежи;
3. Серия ИИ-04-3 Выпуск 3. Часть 1. Ригели связевого каркаса с сечением колонн 40х40 см. Опалубка и армирование. Рабочие чертежи;
4. Серия ИИ-04-4. Панели перекрытий железобетонные. Рабочие чертежи;
5. Серия ИИ-04-5. Сборные элементы зданий каркасной конструкции. Панели наружных стен. Рабочие чертежи;
6. СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения;
7. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам. Москва, 2001 г.

References

1. Series AI-04-0. Guidelines for the use of products. Working drawings;
2. Series ИИ-04-2 Prefabricated elements of buildings of frame structure. Columns. Working drawings;
3. Series ИИ-04-3 Issue 3. Part 1. Connected framework transoms with column cross-section 40x40 cm. Formwork and reinforcement. Working drawings;
4. Series II-04-4. Reinforced Concrete Floor Panels. Working drawings;
5. Series II-04-5. Prefabricated elements of buildings of frame structure. External wall panels. Working drawings;
6. SP 47.13330.2012 Engineering Surveying for Construction. General provisions;
7. Recommendations for assessing the reliability of building structures of buildings and structures by external signs. Moscow, 2001.

Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова
Канд. арх., доц. кафедры строительных технологий
Т.Б. Строганова
Россия, г. Пермь, тел. +7(342) 2-17-93-22
e-mail: tb_60@mail.ru

Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov
Cand. of Arch., Associate Professor of the Department of Construction Technologies
T.B. Stroganova
Russia, Perm, tel. +7 (342) 2-17-93-22
e-mail: tb_60@mail.ru

Т.Б. Строганова

ПАРАДИГМА И ПРОГРАММА ФОРМИРОВАНИЯ ВЕКТОРА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Выполненная автором статьи «Программа формирования вектора устойчивого развития в сфере градостроительства и архитектуры в муниципальных образованиях Пермского края» положила начало исследованию круга проблем сельских поселений, способов их решения и прогнозирования ожидаемых результатов. Этот материал, в свою очередь, представляет основу методики для работы с магистрантами кафедры по сбору и анализу данных для определения проблем, формированию целей и задач с последующим проектным решением.

Ключевые слова: устойчивое развитие, градостроительный кодекс, ресурсы, культура, экономика, экология, уровень жизни.

T.B. Stroganova

PARADIGM AND THE PROGRAM FOR FORMING THE VECTOR OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

The program for the formation of a vector of sustainable development in the field of urban planning and architecture in the municipalities of the Perm Territory, carried out by the author of the article, became the basis for studying the range of problems in rural settlements, ways to solve them and predict the expected results. This material, in turn, presents a methodology for working with undergraduates of the department on data collection and analysis to identify problems, form goals and objectives with subsequent project solutions.

Keywords: sustainable development, urban planning code, resources, culture, economy, ecology, standard of living.

Курс на устойчивое развитие (УР) сельских территорий на сегодняшний день в работе администрации района и структур, обеспечивающих контроль и исполнение, является необходимым критерием способов улучшения привлекательности районов. В связи с целями достижения оптимальных результатов в этом направлении необходима разработка программ по формированию вектора УР в сфере градостроительства для сельских поселений, основные положения которых будут лежать в основе исследований в учебном процессе магистратуры.

На примере «Программы по формированию вектора УР в сфере градостроительства и архитектуры в муниципальных образованиях Пермского края» (далее «Программа»), разработанной автором, исследуются основные проблемы, цели и задачи по их решению. [1] В основу разработки «Программы» автором были исследованы «исходные положения», в составе которых рассмотрены: - определение УР, - ресурсы, при которых возможно ее осуществление и - парадигма. Именно исходные положения как методически необходимый элемент исследования были внесены автором в структуру программы, предложенную администрацией конкурса. В статье эти материалы рассмотрены с целью обозначить основу методики для работы с магистрантами кафедры по сбору и анализу данных для определения проблем, формированию целей и задач с последующим проектным решением в магистерской диссертации.

В заключение автор ссылается на статьи, написанные магистрантами под руководством автора, демонстрирующие логику исследования для определения первоочередных задач и их решения благодаря строительству объекта одного из видов инфраструктуры.

Исходные положения (определение УР). В Градостроительном кодексе России обеспечение УР территорий на основе территориального планирования и градостроительного зонирования определено как основной принцип градостроительной деятельности. Это понятие подразумевает обеспечение безопасности и благоприятных условий жизнедеятельности человека, ограничение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и обеспечение охраны и рационального использования природных ресурсов в интересах настоящего и будущего поколений. Условия устойчивого развития населенных пунктов и межселенных территорий достигаются посредством: — оптимальной системы расселения на основе: градостроительного планирования, застройки, благоустройства городских и сельских населенных пунктов, развития инженерной, транспортной и социальной инфраструктуры поселений; — организации рационального природопользования; — сохранения объектов историко-культурного наследия; — охраны окружающей природой среды. [2]

УР необходимо рассматривать как сбалансированное развитие, т.е. как процесс экономических и социальных изменений, при котором природные ресурсы, направление инвестиций, ориентация научно-технического развития, развитие личности и институциональные изменения согласованы друг с другом и укрепляют нынешний и будущий потенциал для удовлетворения человеческих потребностей и устремлений.

В архитектуре - это экологически ориентированная архитектура высоких технологий.

Исходные положения (ресурсы). Ресурсы осуществления программы: - культура, - кадры, - природные богатства, - материальная среда и - технологии. Подчеркнем важность каждого ресурса. • Культура - это универсальный код программирования общества, определяющий его ценности, а также решение задач развития науки, искусства, НТП и тд. • Кадры (население) создают задачи и цели, их осуществляют, занимаются творчеством, определяют демографические показатели. • Природные ресурсы (земля, недра) определяют первичный вектор экономики и хозяйствования. • Материальная среда (материально-техническая база). • Технологии - (ресурс и инструмент одновременно) это цифровизация, алгоритмическое проектирование, визионерское мышление, управление рисками, (инновации) - горизонтальное управление, (традиции) - статистическое управление, вертикальная иерархия.

Ресурсом является и возможность участия в существующих программах и проектах (национальные, федеральные, региональные, муниципальные, стратегические, инвестиционные, целевые и т.д.)

Исходные положения (управление). Необходимо подчеркнуть, что управление как важный фактор регулирования процессов в развитии сельских поселений, имеет несколько уровней, на каждом из которых существует собственный инструментарий. Уровни управления в градостроительстве: • Власть, аппарат власти (законы, документы, процедуры); • Исследования (теоретический уровень, косвенное управление); • Проектирование. [3]

Исходные положения (парадигма). Существующие тренды во всех сферах жизнедеятельности (горизонтальное управление, цифровизация, инклюзивная среда, уплотнение застройки, трансдисциплинарность, экспертность, безопасность как приоритет, целеполагание и прогнозирование, оценка результатов и т.д.) отражают механизм получения решений в виде новых требований на проблемы в обществе, экономике, градостроительстве и других сферах жизни. [4] [5]

Вектор УР необходимо практиковать, исходя из рейтинга приоритетов целей и задач сегодняшнего дня и на перспективу в каждом отдельном градобразовании. С опорой на культурные ресурсы (исторический аспект и др.); человеческие ресурсы (нежелательная миграция, профкадры, готовность к бизнесу и др.); ресурс федеральных и региональных программ и конкурсов (актуализированная поддержка); ресурсы существующей природной и материальной среды и ресурса технологий.

Экономический кризис - это реалии продолжительного времени. Ожидать подъема без решения проблем новыми технологиями в градостроительной деятельности и, в целом, в обществе нереально. Насколько мы готовы отказаться от привычного роскошества и/или попустительства и строить новый более гармоничный мир, сосуществуя с искусственной неэнергоёмкой средой? В законодательном отношении хотелось бы получить «новый этический кодекс, где будут провозглашены принципы внутр поколенной и межпоколенной справедливости, определяющие формы жизнеспособного образа жизни, как отдельного человека, так и глобального сообщества». [6] Вопросы об экологичности многих явлений нашей жизни остаются сегодня актуальными.

Экология емкое понятие, в котором отражается некая эмпатия и забота к чему-либо, желание равновесия сил. Это принцип современного существования и директива одновременно. Каждый отдельный опыт решения проблем в обществе и его видов расселения имеет свой уникальный вариант. Культура (культурные ресурсы) определяет этику и механизмы взаимодействия всех сил и их взаимоотношений в обществе, отношение к наследию, творчеству, всем сферам жизни и к природе. По признаку культуры мы распознаем уровень развития общества в его реальном измерении и программируем новую реальность с помощью намерений и фантазий. [7]

Таким образом, именно высокий уровень культуры несет в себе парадигму УР, при отсутствии таковой культуры любые решения могут встречать в обществе сопротивление в различных его формах. Если мы требуем сохранного отношения к природе, то мы должны обеспечить культуру и качество жизни человеку, используя преимущества урбанизации в любом поселении. [7]

Автором были обозначены особенности работы над «Программой». Планирование на обозримый период необходимо строить в гибкой версии рейтингов задач с учетом скорости изменений в информационном и законодательном поле. В планировании на перспективу возрастает роль визионерского мышления, где антиутопия отражает взгляд на проблему сосуществования человека и техносреды. В обоих случаях мерилом выступает целеполагание, в котором культура во всех ее проявлениях есть индикатор и способ программирования будущего.

В результате, были выявлены группы проблем, характеризующих качество: - жизни, - инфраструктуры, - бюджета, - ИТ обеспечения администрации районов и качества и скорости процесса подготовки и принятия градостроительных решений. Первые две группы проблем и являются предметом исследования магистрантов, поскольку другие три группы находятся практически в зоне критически низкого статуса. Второе, социальная и демографическая картина как и анализ инфраструктуры вместе с уточнением задач развития района определяют вектор развития инфраструктуры с предложением строительства нового объекта. В работе мы используем системный, прогностический, визионерский подходы и моделирование. Решение проблем преследует достижение целей «Программы», главной из которых является «обеспечение экономической стабильности и жизнедеятельности поселений Пермского края». В круге задач основными будут: определение актуального рейтинга конкурентных

преимуществ и недостатков анализируемого поселения; выявление особенностей исторического, культурного, производственного характера; поддержка гражданских инициатив местных сообществ.

На примере исследования статистических данных и стратегических планов развития Березовского МР, демографической ситуации и документов стратегии социально – экономического развития Верещагинского МР, где магистранты фокусируют работу на поиске актуальных направлений и проектных мероприятий, можно увидеть прикладной и методический характер использования «исходных положений» «Программы», разработанной автором для участия в конкурсе на замещение вакантной должности главного архитектора Пермского края. [8] [9]

В результате использования логики «исходных положений», выявленной группы проблем, поставленных целей и задач, сформулированных в «Программе» предложений и мероприятий по развитию районов в Пермском крае были аналогичным образом исследованы данные районов и обозначены перспективные направления их развития, где определенной отрасли отводится важная роль в повышении социально-экономического статуса. Были подчеркнуты сопутствующие необходимые условия осуществления этих предложений, ведущих, в целом, к повышению уровня жизни населения в поселениях края.

Библиографический список

1. Строганова Т.Б.. Программа по формированию вектора устойчивого развития в сфере градостроительства и архитектуры в муниципальных образованиях Пермского края. (Материалы автора).
2. Градостроительный кодекс России. Статья 1.
3. Есаулов Г.В. Устойчивая архитектура – от принципов к стратегии развития // Вестник ТГАСУ. - 2014. - № 6 (Архитектура и градостроительство). - С. 9 – 24.
4. Козлов А.С. Минстрой РФ. Цифровизация строительной отрасли. Режим доступа: <https://org.tpprf.ru/committee/komstroy/post-release/2372773/> (дата обращения: 25.10.2022).
5. Тарарин А.М. Цифровая трансформация градостроительной деятельности // Вестник СГУГиТ, Том 26. - 2021. - № 1. - С. 110-119.
6. Шубенков М.В. Устойчивое развитие. Вызовы современности // Сборник трудов XXI Международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие территорий». НИУ МГСУ. - 2018. - С. 8-10.
7. Высоковский А.А. Theory. Т. 1. Москва: Издательство Grey Matter, 2015. – 438 с.
8. Заклучных С.А. Качество жизни населения Верещагинского МР. Развитие сельских территорий // Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и обучающихся, посвященной 120-летию со дня рождения профессора А.А. Ерофеева «Молодежная наука 2022: технологии, инновации». Часть 2. – Пермь : Изд-во ИПЦ «Прокрость». - 2022. - С. 141-144.
9. Набиулин Р.Р. Актуализация направлений развития сельских территорий Березовского района // Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и обучающихся, посвященной 120-летию со дня рождения профессора А.А. Ерофеева «Молодежная наука 2022: технологии, инновации». Часть 2. – Пермь : Изд-во ИПЦ «Прокрость». - 2022. - С. 170-172.

References

1. Stroganova T.B. The program for the formation of the vector of sustainable development in the field of urban planning and architecture in the municipalities of the Perm Territory. (Materials of the author).
2. Urban planning code of Russia. Article 1

3. Esaulov G.V. Sustainable architecture - from principles to development strategy // Bulletin of TGASU. - 2014. - No. 6 (Architecture and urban planning). - S. 9 - 24.
4. Kozlov A.S. Ministry of construction of the Russian Federation. Digitization of the construction industry. Access mode: <https://org.tpprf.ru/committee/komstroy/post-release/2372773/> (date of access: 10/25/2022).
5. Tararin A.M. Digital transformation of urban planning activities // Bulletin of SGUGiT, Volume 26. - 2021. - No. 1. - P. 110-119.
6. Shubenkov M.V. Sustainable development. Challenges of our time // Proceedings of the XXI International Scientific and Practical Conference "Sustainable Development of Territories". NRU MGSU. - 2018. - S. 8-10.
7. Vysokovsky A.A. theory. T. 1. Moscow: Gray Matter Publishing House, 2015. - 438 p.
8. Concluding S.A. The quality of life of the population of Vereshchaginskiy MR. Development of rural territories // Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference of young scientists, graduate students and students, dedicated to the 120th anniversary of the birth of Professor A.A. Erofeev "Youth science 2022: technologies, innovations". Part 2. - Perm: Publishing House of the IPC "Prokrost". - 2022. - S. 141-144.
9. Nabiulin R.R. Actualization of the directions of development of rural areas of the Berezovsky district // Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference of young scientists, graduate students and students, dedicated to the 120th anniversary of the birth of Professor A.A. Erofeev "Youth science 2022: technologies, innovations". Part 2. - Perm: Publishing House of the IPC "Prokrost". - 2022. - S. 170-172.

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, ВОДООТВЕДЕНИЕ, ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ

УДК 697.92

*Воронежский государственный
технический университет
старший преподаватель кафедры
«Жилищно-коммунального хозяйства»
Мерщиев Александр Александрович
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-28-92
e-mail: sasha__1990@mail.ru
старший преподаватель кафедры
«Жилищно-коммунального хозяйства»
Лобанов Дмитрий Валерьевич
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-28-92
e-mail: ldv-36@mail.ru
студент группы бСТР-2116
Аносов Сергей Васильевич
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-28-92
e-mail: nosic01@yandex.ru
студент группы мВЕЗ-221
Борх Михаил Серафимович
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-28-92
e-mail: borkh.info@gmail.com*

*Voronezh State
Technical University
Senior Lecturer of the Department of Housing
and Communal Services
Mershchiev Alexander Alexandrovich
Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-28-92
e-mail: sasha__1990@mail.ru
Senior Lecturer of the Department of Housing
and Communal Services
Lobanov Dmitry Valerievich
Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-28-92
e-mail: ldv-36@mail.ru
student of the bSTR-2116 group
Anosov Sergey Vasilyevich
Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-28-92
e-mail: nosic01@yandex.ru
student of the mVEZ-221 group
Borkh Mikhail Serafimovich
Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-28-92
e-mail: borkh.info@gmail.com*

А.А. Мерщиев, Д.В. Лобанов, С.В. Аносов, М.С. Борх

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА

В настоящее время ведется активное строительство новых производственных предприятий, выпускающих различные изделия из металлов и сплавов. Наиболее острой проблемой существующих предприятий литейных цехов является их техническое состояние, которое требует значительных капиталовложений для повышения их энергетической и экологической эффективности.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, экологическая эффективность, надежность, коррозия, вентиляция.

A.A. Mershchiev, D.V. Lobanov, S.V. Anosov, M.S. Borkh

ANALYSIS OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE EQUIPMENT FOUNDRY VENTILATION SYSTEMS

Currently, active construction of new manufacturing enterprises producing various products made of metals and alloys is underway. The most acute problem of existing foundry enterprises is their technical condition, which requires significant investments to increase their energy and environmental efficiency.

Keywords: energy efficiency, environmental efficiency, reliability, corrosion, ventilation.

Основными показателями при выборе вентиляционного оборудования являются безопасность, надежность, энергетическая эффективность, требования по экологичности, параметрам перемещаемой среды и безопасности при эксплуатации. Надежность вентиляционного оборудования в целом обеспечивается в течение заданного времени режима работы в зависимости от параметров перемещаемой среды, а также технологических потребностей потребителя. Зачастую надежность определяется по трем критериям: вероятность, долговечность и коэффициент готовности.

Надежность - свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования [1].

Минимальная вероятность безотказной работы вентиляционного оборудования, согласно [2], равна от 0,01 до 0,03, но этот показатель может быть увеличен по требованию Заказчика. Чтобы увеличить вероятность безотказной работы вентиляционного оборудования следует проводить плановые осмотры, текущий и капитальные ремонты согласно требованиям действующей нормативной и рекомендаций справочной литературы [3, 4, 5]. На рис. 1, 2 приведены изображения участков вентиляционной сети и вентиляционного оборудования, которые подвержены активной коррозии и требуют выполнения ремонтных работ и замены.



Рис. 1. Коррозия вентиляционного оборудования и воздуховодов



Рис. 2. Коррозия элементов и участков вентиляционной сети

Причины неудовлетворительного состояния систем вентиляции различны и их можно условно разделить на группы некачественного выполнения работ:

- по проектированию (отсутствие требуемой антикоррозионной защиты, несоблюдение в полном объеме нормативных требований и рекомендаций и др.);
- монтажу (грубые нарушения требований и рекомендаций по монтажу, отклонения при выполнении работ от проектных решений без согласования с проектной организацией, замена проектного оборудования, изделий и материалов на иное, не предусмотренное проектом (без согласования), а также нарушение или отсутствие изоляции воздуховодов и др.);
- эксплуатации (несоблюдение требований и рекомендаций по выполнению эксплуатационных работ (физический износ воздуховодов и оборудования в результате длительной эксплуатации выше нормативного срока, неудовлетворительное состояние строительных конструкций, применение труда неквалифицированных специалистов и др.).

Долговечность и надежность работы систем вентиляции напрямую зависят от вышеперечисленных причин.

Регулярное обслуживание вентиляционных систем требует огромных материальных и трудовых затрат. Данная процедура приводит к нарушению технологического процесса и увеличению издержек на поддержание оборудования в состоянии готовности [5]. Вытяжные системы, устанавливаемые в производственных помещениях, должны работать в круглосуточном и круглогодичном режимах, обладать высокой эффективностью; в связи с этим к их элементам предъявляются повышенные требования по надежности [6].

Качество работы системы вентиляции можно оценить по ряду критериев. Часто используют показатели эффективности, надежности и экономичности. При этом критерии надежности рассматриваются обособленно, так как при проектировании и эксплуатации вентиляционных систем практически не используются [7].

Периодичность регламентных работ по выявлению дефектов следует предусматривать в соответствии с расчетными сроками службы применяемых материалов и оборудования вентиляционных систем. В связи с этим предлагается проводить обследования, по результатам которых можно установить объемы регламентных работ, со сроком не менее один раз в месяц.

Энергоэффективность вентиляционных систем на промышленных предприятиях можно значительно увеличить путем применения коррозионностойких материалов и оборудования, а также правильный подбор средств автоматизации для эффективного контроля и управления.

Библиографический список

1. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
2. СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».
3. СП 336.1325800.2017 «Системы вентиляции и кондиционирования воздуха правила эксплуатации».
4. ГОСТ Р 59972-2021 Системы вентиляции и кондиционирования воздуха общественных зданий. Технические требования.
5. Ушаков И.А. Курс теории надежности систем. – М.: Дрофа, 2008. – 239 с.
6. Надежность работы вентиляционных систем / Н. В. Вадулина, С. Р. Ахмедянова, А. Р. Губайдуллина, Ю. Е. Шипилова // Вестник молодого ученого УГНТУ. – 2016. – № 4(8). – С. 20-23. – EDN XWLSJL.
7. Пасечников, К. В. Критерии оценки надежности функционирования систем вентиляции / К. В. Пасечников, С. В. Жирова, А. В. Рамзаев // Стратегическое развитие инновационного потенциала отраслей, комплексов и организаций: сборник статей X Международной научно-практической конференции, Пенза, 20–21 октября 2022 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2022. – С. 188-191. – EDN FQJHIV.
8. Романова, Л. В. Защита металлических конструкций систем вентиляции от коррозии методом оцинковки / Л. В. Романова // Вестник магистратуры. – 2022. – № 6-2(129). – С. 31-32. – EDN IYFZEL.

References

1. GOST 27.002-89 Reliability in technology. Basic concepts. Terms and definitions.
2. SP 60.13330.2020 «Heating, ventilation and air conditioning».
3. SP 336.1325800.2017 Ventilation and air conditioning systems operating rules.
4. GOST R 59972-2021 Ventilation and air conditioning systems of public buildings. Technical requirements.
5. Ushakov I.A. Course of the theory of reliability of systems. – M.: Bustard, 2008. – 239 p.
6. Reliability of ventilation systems / N. V. Vadulina, S. R. Akhmedyanova, A. R. Gubaidullina, Yu. E. Shipilova // Bulletin of the young scientist of USPTU. – 2016. – № 4(8). – Pp. 20-23. – EDN XWLSJL.
7. Pasechnikov, K. V. Criteria for assessing the reliability of ventilation systems / K. V. Pasechnikov, S. V. Zhironova, A.V. Ramzaev // Strategic development of innovative potential of industries, complexes and organizations: collection of articles of the X International Scientific and Practical Conference, Penza, October 20-21, 2022. – Penza: Penza State Agrarian University, 2022. – pp. 188-191. – EDN FQJHIV.
8. Romanova, L. V. Protection of metal structures of ventilation systems from corrosion by galvanizing / L. V. Romanova // Bulletin of the Magistracy. – 2022. – № 6-2(129). – Pp. 31-32. – EDN IYFZEL.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬНОГО И ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА

УДК 625.7:502.55

*Воронежский государственный
технический университет
Кандидат технических наук, доцент
кафедры проектирования автомобильных
дорог и мостов О.А. Волокитина
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (910) 349-72-56
e-mail: dixi.o@mail.ru
Кандидат технических наук, доцент ка-
федры проектирования автомобильных до-
рог и мостов А.В. Ерёмин
студентка группы МТПАД-221
А.В. Волокитина
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (904) 212-18-21
e-mail: nasya.v@mail.ru
студентка группы Б-АМТ 191
М.А. Габриелян
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (915) 588-66-07
e-mail: gabrielyan-525@mail.ru*

*Voronezh State
Technical University
D.Sc.(Engineerin), the senior lecturer of Post-
graduate at the Department of Road and
Bridge O.A. Volokitina
Russia, Voronezh, tel. (910) 349-72-56
e-mail: dixi.o@mail.ru
D.Sc.(Engineerin), the senior lecturer of Post-
graduate at the Department of Road and
Bridge A.V. Eremin
Student of the group MTPAD-221
A.V. Volokitina
Russia, Voronezh, tel. +7 (904) 212-18-21
e-mail: nasya.v@mail.ru
Student of the group B-AMT 191
M.A. Gabrielyan
Russia, Voronezh, tel. +7 (915) 588-66-07
e-mail: gabrielyan-525@mail.ru*

О.А. Волокитина, А.В. Еремин, А.В. Волокитина, М.А. Габриелян

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В статье приводятся данные о комплексном решении задач по повышению экологической безопасности на различных этапах жизненного цикла автомобильной дороги за счет применения отходов металлургической промышленности в конструктивных слоях нежесткой дорожной одежды на примере анализа полученных данных вследствие наблюдения за экспериментальным участком.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожная одежда, слой, экологическая безопасность, шлаковые материалы.

О.А. Volokitina, A.V. Eremin, A.V. Volokitina, M.A. Gabrielyan

SOLVING THE PROBLEM OF ENVIRONMENTAL SAFETY OF HIGHWAYS THROUGH THE USE OF BY-PRODUCTS OF THE METALLURGICAL INDUSTRY

The article presents data on a comprehensive solution to the problem of improving environmental safety at various stages of the life cycle of a highway through the use of metallurgical industry waste in structural layers of non-rigid pavement on the example of the analysis of the data obtained as a result of observation of the experimental site.

Keywords: automobile road, road clothing, layer, environmental safety, slag materials.

В условиях усиления внимания общества к экологическим факторам снижение вредного воздействия транспорта на окружающую среду имеет большое социальное значение.

В основе транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года положено решение задач в рамках цели «Повышение уровня безопасности транспортной системы», а также цели «Снижение вредного воздействия транспорта на окружающую среду». Реализация данных задач должна быть достигнута за счет сокращения вредного воздействия транспорта на здоровье человека; за счет разработки и внедрения новых конструкций, материалов, технологий, которые позволят снизить пылеобразование и предотвратить водную эрозию, а также за счет применения конструктивно-технологических решений, предотвращающих нарушение природных ландшафтов (сооружение эстакад, тоннелей и т.д.) [1].

Реализация указанных мер будет осуществляться на основе повышения экологических требований к проектированию, строительству, ремонту и содержанию автомобильных дорог.

Основной задачей в этой области является сокращение объемов выбросов автотранспортных средств, количества отходов при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог [1,2].

В свою очередь интенсивное развитие сети автомобильных дорог приводит к увеличению потребности в дорожно-строительных материалах для устройства, содержания и ремонта дорожных одежд. Поэтому в районах с развитой металлургической промышленностью широкое применение в дорожном строительстве нашли шлаки черной и цветной металлургии. Для строительства автомобильных дорог применяется широкий спектр шлаковых материалов, полученных при отсеве дробления шлаковой пемзы (рис 1.) и литого шлакового щебня на фракционированный щебень (рис.2), шлакопемзовые и шлаковые пески (рис.3).



Рис. 1. Общий вид шлаковой пемзы фракции 0-5



Рис. 2. Общий вид шлакового щебня фракции 5-20



Рис. 3. Общий вид шлакового песка фракции 0-5

Длительное время применение шлаковых материалов в конструкциях дорожных одежд ограничивалось отдельными слоями. Решение о применении шлаковых отходов во всех конструктивных слоях дорожной одежды было осуществлено в процессе строительства экспериментального участка автомобильной дороги II технической категории на обходе села Борино в Липецкой области в период с 1998 по 2000 год.

За время наблюдений за данным участком, учитывая комплексное применение шлаковых материалов в конструкции дорожной одежды, осуществлялось также наблюдение за их влиянием на окружающую среду.

Поскольку основные проблемы экологической безопасности возникают на разных стадиях жизненного цикла автомобильной дороги - стадии проектирования, строительства и эксплуатации, следовательно, и решать их нужно своевременно.

На стадиях проектирования и строительства основными требованиями являются стоимость конструкции, а также выбор типа покрытия и материала с учетом его сцепных характеристик, экологичности, долговечности и шумовых качеств.

На стадии эксплуатации - необходимо обеспечить бесперебойное, равномерное движение автотранспорта, что позволяет снизить выбросы токсичных веществ отработанных газов при изменении режимов работы двигателей.

В процессе строительства комплексное применение шлаковых материалов позволяет наиболее полно использовать вторичные отходы металлургического производства [3,4]. При этом решаются проблемы сверхнормативного накопления вторичного сырья на территориях предприятия и отвалах, а также решается задача обеспечения дорожно-строительных организаций качественными материалами взамен природных минеральных материалов без ущерба для окружающей среды.

Оценивая использование шлаков в конструкции дорожной одежды, с точки зрения "экологической безопасности автомобильной дороги", необходимо учитывать их энергетическую активность по отношению к воде и битуму.

Во время эксплуатации шлаковых асфальтобетонных покрытий пористая структура шлакового щебня определяет избирательную адсорбцию битума. При этом более легкие фракции просачиваются в поры шлакового щебня на большую глубину, а тяжелые фракции остаются на поверхности. Данное свойство шлакового щебня позволяет сделать вывод, что при нагревании покрытия в летний период времени, испарение легких фракций битума существенно меньше, чем на покрытии с применением, например, гранитного щебня. То есть применение шлакового асфальтобетона для строительства автодорог и тротуаров в черте населенных пунктов снижает загрязнение атмосферы токсичными легкими фракциями битума.

С позиции шумового воздействия различные виды покрытия по-разному влияют на формирование уровня транспортного шума. Особенностью шлаковых асфальтобетонных покрытий является меньший уровень шума при движении по ним автотранспорта, как по сухому, так и по мокрому покрытию, по сравнению с традиционными асфальтобетонными покрытиями. Данный эффект хорошо ощущается при переходе транспортного средства с одного покрытия (шлакового) на другое (традиционное с применением гранитного щебня), и был замечен также в период наблюдения за экспериментальным участком на обходе села Борино в Липецкой области. Дальнейшее изучение этого эффекта позволяет дать рекомендации по применению шлаковых асфальтобетонных покрытий в местах, где необходимо максимально снизить влияние транспортного шума на окружающую среду, а устройство шумозащитных экранов или заграждений не целесообразно.

Для повышения безопасности движения автотранспорта в ряде случаев при эксплуатации автомобильных дорог обычно устраивается поверхностная обработка из трудно полируемых пород, однако это ведет к повышению шумового воздействия на прилегающую территорию.

Пористая структура шлакового асфальтобетона, предопределяет высокий коэффициент сцепления покрытий без устройства поверхностной обработки, как в летний, так и зимний период. При этом на шлаковых покрытиях наблюдается пониженное гололедообразование. Эти свойства предопределяют меньшие затраты при борьбе с гололедом в зимний период времени, что в свою очередь уменьшает загрязнение хлоридами придорожной полосы отвода.

Известно, что при ухудшении состояния покрытия изменяется скорость движения и режим работы двигателя. Водителю приходится притормаживать перед неровностями и снова набирать скорость. При этом увеличиваются выбросы токсичных веществ отработанных газов в процессе движения.

Комплексное применение шлаковых материалов в конструктивных слоях дорожной одежды дает увеличение межремонтных сроков на 3-5 лет, при этом покрытие имеет хорошие эксплуатационные показатели. Наблюдение за экспериментальным участком подтверждает эксплуатационную надежность конструкций при значительном сроке службы. На покрытиях не наблюдаются проломы и прогибы, характерные для слабых оснований, наблюдается значительно меньше температурных трещин и выбоин, то есть в межремонтные сроки, наблюдаемые участки обеспечивают оптимальные решения движения автомобилей. В свою очередь это приводит к уменьшению затрат материально-технических ресурсов дорожно-строительных организаций.

Все вышеперечисленные особенности материалов конструктивных слоев, в состав которых входят побочные продукты металлургической промышленности, дают существенный положительный эффект, как с позиции экономических затрат, так и с позиции экологической безопасности.

Выводы

1) В процессе строительства, комплексное применение шлаковых материалов, позволяет наиболее полно использовать вторичные отходы металлургического производства. При этом решаются проблемы сверхнормативного накопления вторичного сырья на территориях предприятия и отвалах, а также, решается задача обеспечения дорожно-строительных организаций качественными материалами взамен природных минеральных материалов, без ущерба для окружающей среды.

2) На стадии эксплуатации автомобильных дорог поверхность покрытия из шлаковых асфальтобетонов обеспечивает повышенные сцепные качества, что сокращает гололедообразование в зимний период и сокращает расходы на содержание.

3) Оценивая использование шлаков в конструкции дорожной одежды, с точки зрения экологической безопасности автомобильной дороги с позиции избирательной адсорбции битума снижает загрязнение атмосферы токсичными легкими битумными фракциями в черте населенных пунктов.

Библиографический список

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года (с изменениями от 12 мая 2018 года), М.: Правительство РФ, 2008. 267 с.

2. Российская Федерация. Федеральный закон. "Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 08.11.2007 N 257-ФЗ (с изменениями на 2 июля 2021 года). [федер. закон: принят Гос. Думой 18 октября 2007 г.: по состоянию на 21 июля 2021 г.] М.: Кремль, 2007. 63с

3. ОДМ 218.3.087-2017. Рекомендации по применению асфальтобетонных смесей на основе металлургических шлаковых материалов для условий Центрального федерального округа. М.: Информавтодор, 2020. 35 с.
4. СП 34.13330.2021. Автомобильные дороги. М.: ЗАО "ПРОМТРАНСНИИПРОЕКТ", 2021. 94 с.

References

1. Order of the Government of the Russian Federation. Transport Strategy of the Russian Federation for the period up to 2030 (as amended on May 12, 2018), Moscow: Government of the Russian Federation, 2008. 267 p.
2. The Russian Federation. Federal law. "On Highways and on road activity in the Russian Federation and on Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation" dated 08.11.2007 N 257-FZ (as amended on July 2, 2021). [feder. law: adopted by the State Duma on October 18, 2007: as of July 21, 2021] Moscow: Kremlin, 2007. 63 p.
3. ODM 218.3.087-2017. Recommendations for the use of asphalt concrete mixtures based on metallurgical slag materials for the conditions of the Central Federal District. Moscow: Informavtodor, 2020. 35 p.
4. SP 34.13330.2021. Highways. M.: CJSC "PROMTRANSNIIPROEKT", 2021. 94 p.

МЕХАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

УДК 621.225.4

*Воронежский государственный
технический университет
Россия, г. Воронеж
Студент дорожно-транспортного
факультета
В.Ю. Ворошилов
e-mail: oofilms2020@gmail.com
Канд. техн. наук, доц. кафедры
строительной техники и инженерной
механики имени профессора Н.А. Ульянова
Р.А. Жилин
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 271-59-18
e-mail: zhilinra@yandex.ru*

*Voronezh State
Technical University
Russia, Voronezh
Student of the Faculty of Road Transport
Faculty
V.Y. Voroshilov
e-mail: oofilms2020@gmail.com
D.Sc.(Engineerin), Associate prof. of the chair
construction machinery and engineering
mechanics of a name of professor N.A. Ulyanov
R.A.Zhilin
Russia, Voronezh, tel. +7(473) 271-59-18
e-mail: zhilinra@yandex.ru*

В.Ю. Ворошилов, Р.А. Жилин

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РОТОРНО-ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В статье рассмотрена возможность применения в строительной технике роторно-поршневого двигателя. Рассмотрена возможность использования альтернативных видов топлива.

Ключевые слова: развитие двигателестроения, роторно-поршневой двигатель, альтернативные виды топлива, водородных роторных моторов.

V.Y. Voroshilov, R.A. Zhilin

PROSPECTS FOR THE USE OF ROTARY PISTON ENGINES

The article considers the possibility of using a rotary piston engine in construction machinery. The possibility of using alternative fuels is considered.

Keywords: engine building development, rotary piston engine, alternative fuels, hydrogen rotary motors.

Развитие автомобильной промышленности направлено на повышение экономичности и удельной мощности двигателей. Одно из направлений такого совершенствования подразумевает использование вместо широко применяемого двигателя внутреннего сгорания (ДВС) роторно-поршневого двигателя (РПД).

РПД иногда называют двигателем Феликса Ванкеля (или просто – двигателем Ванкеля), который ещё в 1934 году получил патент на двигатель новой конструкции. В 1954 году Ванкель разработал наиболее рациональную конфигурацию камеры сгорания РПД, сохранившуюся без существенных изменений до нашего времени. В 1957 году в соавторстве с Вальтером Фройде был создан РПД, в котором функцию поршня выполняет трехгранный ротор, совершающий вращательные движения внутри полости сложной формы (рис. 1).

Ротор, насаженный через подшипники на эксцентриковый вал, приводится в движение силой давления газов от сгоревшей топливо-воздушной смеси (рис. 2). Движение ротора относительно корпуса двигателя производится через пару шестерен, большая из них закреплена на внутренней поверхности ротора, меньшая, опорная, жестко прикреплена к внутренней поверхности боковой крышки двигателя. Благодаря взаимодействию шестерен, ротор совершает круговые эксцентричные движения, соприкасаясь гранями с внутренней поверхностью камеры сгорания. В результате между ротором и корпусом двигателя образуются три изолированные камеры переменного объема, в которых происходят процессы сжатия топливо-воздушной смеси, ее сгорания, расширения газов, оказывающих давление на рабочую поверхность ротора и очищения камеры сгорания от отработанных газов. Вращательное движение ротора передается на, установленный на подшипниках и передающий вращающий момент на механизмы трансмиссии, эксцентриковый вал. Таким образом в РПД одновременно работают две механические пары:

- 1) регулирующая движение ротора и состоящая из пары шестерен;
- 2) преобразующая круговое движение ротора во вращение эксцентрикового вала.



Рис. 1. Роторно-поршневой двигатель

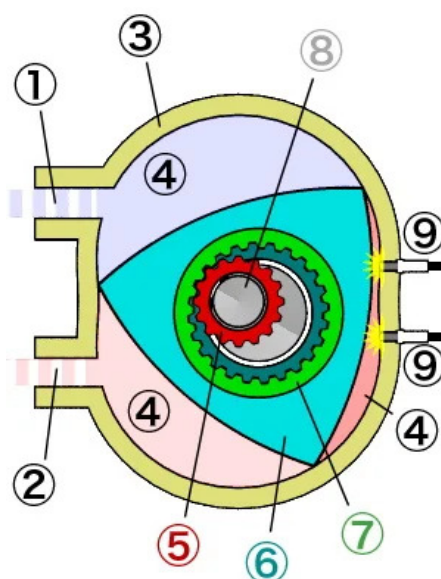


Рис. 2. Схема РПД:

- 1 – впускное окно; 2 – выпускное окно; 3 – корпус; 4 – камера сгорания;
5 – неподвижная шестерня; 6 – ротор; 7 – зубчатое колесо; 8 – вал; 9 – свеча зажигания

За один полный оборот эксцентрикового вала ротор успевает провернуться на 120, так как передаточное соотношение шестерен ротора и статора составляет два к трём. За один полный оборот ротора в каждой из трех образуемых его гранями камер производится полный четырехтактный цикл двигателя внутреннего сгорания.

Преимущества: полная уравновешенность масс; благоприятная кривая изменения крутящего момента; компактная конструкция; меньшее количество компонентов (отсутствует клапанный механизм); легкость в управлении.

Недостатки: неблагоприятная форма камеры сгорания с длинными путями распространения пламени, повышенный расход топлива и масла, невозможность реализации дизельного цикла, высокое расположение выходного вала.

В строительной технике применение РПД раскрывает дополнительные возможности. По сравнению с поршневым двигателем внутреннего сгорания, роторный двигатель не нуждается в некоторых системах: специальном механизме газораспределения, кривошипно-шатунном механизме, и, соответственно, в корпусных объемах картера для размещения этих систем, а также систем распределения зажигания и глушения выхлопных газов. В результате получается гораздо большая, чем у поршневых двигателей удельная мощность. Это значит, что при меньших размерах двигателя мы получаем большую выходную мощность. Благодаря использованию РПД в тракторах тяговых классов 0.6, 0.9, 1.4, 2 и, соответственно, экскаваторах, бульдозерах и погрузчиках на их базе, можно улучшить тяговые, скоростные и мощностные характеристики этих машин.

Преимущества: полная уравновешенность масс; благоприятная кривая изменения крутящего момента; компактная конструкция; меньшее количество компонентов (отсутствует клапанный механизм); легкость в управлении.

Недостатки: неблагоприятная форма камеры сгорания с длинными путями распространения пламени, повышенный расход топлива и масла, невозможность реализации дизельного цикла, высокое расположение выходного вала.

В строительной технике применение РПД раскрывает дополнительные возможности. По сравнению с поршневым двигателем внутреннего сгорания, роторный двигатель не нуждается в некоторых системах: специальном механизме газораспределения, кривошипно-шатунном механизме, и, соответственно, в корпусных объемах картера для размещения этих систем, а также систем распределения зажигания и глушения выхлопных газов. В результате получается гораздо большая, чем у поршневых двигателей удельная мощность. Это значит, что при меньших размерах двигателя мы получаем большую выходную мощность. Благодаря использованию РПД в тракторах тяговых классов 0.6, 0.9, 1.4, 2 и, соответственно, экскаваторах, бульдозерах и погрузчиках на их базе, можно улучшить тяговые, скоростные и мощностные характеристики этих машин.

Одним из перспективных направлений развития роторно-поршневых двигателей является использование в них альтернативных видов топлива. Одним из них является водород. Например, компания Mazda выпустила автомобиль RX-8 Hydrogen RE, работающий и на водороде, и на бензине.

Использование водорода в качестве моторного топлива позволило полностью избавиться от содержания в выхлопе углекислого газа. Но, в то же время, это привело к уменьшению мощности в 1.8 раз (145 кВт у бензинового против 80 кВт у водородного двигателя). Это происходит из-за необходимости использовать сильно обедненную топливно-воздушную смесь для снижения температуры сгорания, от которой, главным образом, зависит содержание в выхлопных газах оксида азота. Это загрязняющее вещество, которое способствует образованию смога, кислотных дождей и твердых частиц, что может вызвать проблемы со здоровьем у людей, подвергающихся его воздействию, и нанести ущерб чувствительным экосистемам.

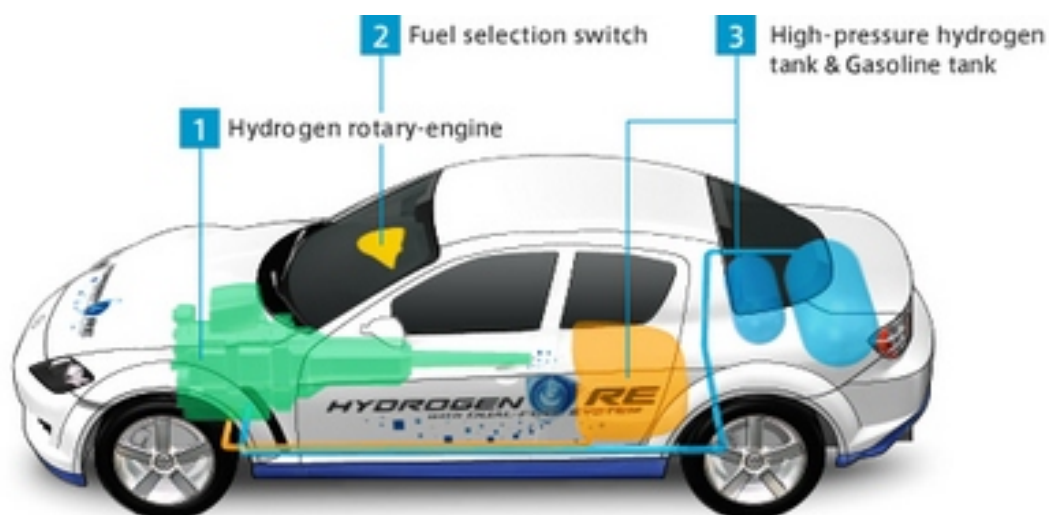


Рис. 3. Автомобиль компании Mazda RX-8 Hydrogen RE

Разработчики водородно-бензинового роторного мотора «RENESIS» наряду несомненными достоинствами отмечают и существенные недостатки водородных силовых установок. Кроме низких крутящего момента и мощность отмечалась недостаточная вместимость бака с водородом, которого при полной заправке хватает всего на 100 километров пробега.

Следовательно, дальнейшее развитие водородных роторных моторов учитывает повышение мощности, увеличение крутящего момента и протяженности пробега на одной заправке топлива.

Библиографический список

1. Перспективы применения роторно-поршневых двигателей / О. А. Авдеюк, К. В. Приходьков, А. В. Крохалев [и др.]. — Молодой ученый. — 2011. — № 5 (28). — Т. 1. — С. 23-25. — URL: <https://moluch.ru/archive/28/3089/>.
2. Перспективы применения роторно-поршневых двигателей / О. А. Авдеюк, К. В. Приходьков, А. В. Крохалев [и др.]. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2011. — № 5 (28). — Т. 1. — С. 23-25. — URL: <https://moluch.ru/archive/28/3089/>.
3. Грустные показатели водородной Mazda RX-8 — URL: <https://news.drom.ru/9146.html>.
4. <http://www.rotor-motor.ru/page08.htm>.
5. <https://press.ocenin.ru/rotornyj-dvigatel/>.
6. https://wiki.zr.ru/Роторно-поршневой_двигатель.

References

1. Prospects for the use of rotary piston engines / O. A. Avdeyuk, K. V. Prikhodko, A.V. Krokhalev [et al.]. — Young scientist. — 2011. — № 5 (28). — Vol. 1. — p. 23-25. — Address: <https://moluch.ru/archive/28/3089/>.
2. Prospects for the use of rotary piston engines / O. A. Avdeyuk, K. V. Prikhodko, A.V. Krokhalev [et al.]. — Text: direct // Young scientist. — 2011. — № 5 (28). — Vol. 1. — p. 23-25. — Address: <https://moluch.ru/archive/28/3089/>.
3. The indicators of the hydrogen Mazda RX-8 are sad - URL: <https://news.drom.ru/9146.html>.
4. <http://www.rotor-motor.ru/page08.htm>.
5. <https://press.ocenin.ru/rotornyj-dvigatel/>.
6. https://wiki.zr.ru/Роторно-поршневой_двигатель.

*Российский университет транспорта
(МИИТ)
Канд. техн. наук, доц. кафедры «Наземные
транспортно-технологические средства»
П.А. Григорьев
Россия, г. Москва, тел. +7(915) 434-07-24
e-mail: grigorievpavel1996@yandex.ru
Российский университет транспорта
(МИИТ)
Канд. техн. наук, зав. кафедрой «Наземные
транспортно-технологические средства»
А.Н. Неклюдов
Россия, г. Москва, тел. +7(926) 792-55-04
e-mail: alexis_skin@mail.ru
Российский университет транспорта
(МИИТ)
Канд. техн. наук, доц. кафедры «Наземные
транспортно-технологические средства»
И.В. Трошко
Россия, г. Москва, тел. +7(925) 732-25-20
e-mail: troshko_iv@mail.ru*

*Russian University of Transport
D.Sc.(Engineerin), Associate prof. of the de-
partment «Ground transportation and techno-
logical means»
P.A. Grigorev
Russia, Moscow, tel. +7(915) 434-07-24
e-mail: grigorievpavel1996@yandex.ru
Russian University of Transport
D.Sc.(Engineerin), Head of the department
«Ground transportation and technological
means»
A.N. Nekludov
Russia, Moscow, tel. +7(926) 792-55-04
e-mail: alexis_skin@mail.ru
Russian University of Transport
D.Sc.(Engineerin), Associate prof. of the de-
partment «Ground transportation and techno-
logical means»
I.V. Troshko
Russia, Moscow, tel. +7(925) 732-25-20
e-mail: troshko_iv@mail.ru*

П.А. Григорьев, А.Н. Неклюдов, И.В. Трошко

РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ ДЕТАЛЕЙ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ 3D СКАНИРОВАНИЯ

В условиях сбоя поставок деталей для конструкций наземных транспортно-технологических средств необходимо рассмотреть возможные технологии для быстрого создания их аналогов. С этой целью проведено исследование процедуры реверс-инжиниринга с применением технологий 3D сканирования. Установлено, что данная методика позволяет получить аналог детали с достаточной точностью параметров, предъявляемых к изделию.

Ключевые слова: обратное проектирование, 3D сканирование, производственные технологии, конструкторская документация.

P.A. Grigorev, A.N. Nekludov, I.V. Troshko

MODERN 3D PRINTING TECHNOLOGIES FOR IMPORT SUBSTITUTION DETAILS OF GROUND VEHICLES

In the conditions of failure of the supply of parts for structures of ground transport and technological means, it is necessary to consider possible technologies for the rapid creation of their analogues. For this purpose, a study of the reverse engineering process using 3D scanning technologies has been conducted. It is established that this technique allows obtaining an analogue of part with sufficient accuracy of the parameters required for the product.

Keywords: reverse engineering, 3D scanning, processing technique, engineering drawings.

В настоящее время в связи с перебоями поставок комплектующих для конструкций наземных транспортно-технологических средств необходимо исследование технологий для создания деталей-аналогов. Наиболее преимущественной из всех существующих технологий является реверс-инжиниринг (процесс разработки конструкторской документации на основе исходных данных, полученных в виде готового образца изделия) [1]. Главной задачей реверс-инжиниринга является получение полного комплекта технической документации на заменяемое изделие в максимально короткое время.

При процессе создания деталей-аналогов можно выделить основные ключевые этапы:

1) Предоставление образца и информации о нем:

- объект реверс-инжиниринга;
- эскизный вид конструкции (сборочной модели) с разнесенными составными частями;
- описание принципов работы конструкции;
- данные об ответных частях детали;

2) Разработка чертежей и конструкторской документации:

- снятие размеров детали ручным обмериванием или 3D сканированием;
- определение материалов детали и их возможных заменителей;
- построение и корректировка 3D моделей;
- выпуск и согласование конструкторской документации;

3) Создание и испытания опытного образца с последующей доработкой.

Процесс создания детали с применением методов реверс-инжиниринга представлен на рис. 1.



Рис. 1. Основные этапы реверс-инжиниринга

Основными преимуществами реверс-инжиниринга являются [2]:

- сокращение производственных затрат за счёт локализации производства, оптимизации логистики и других факторов;
- существенное снижение стоимости изготовления изделия при производстве партиями или сериями
- возможность многократного воспроизведение документации, полученной в ходе реверс-инжиниринга.

Для создания 3D моделей наибольшую популярность получил метод 3D сканирования, с помощью которого возможно быстрое получение всех размеров деталей с небольшой погрешностью. Пример модели, полученной при сканировании без постобработки, приведен на рис. 2.



Исходная деталь



Полученная модель при 3D сканировании

Рис. 2. Трехмерная модель деталь с использованием методов 3D сканирования

Для определения наиболее рациональных методов 3D сканирования в зависимости от конфигурации изделия необходимо рассмотреть существующие направления развития в данной области.

В работе [3] предложена последовательность реверс-инжиниринга изношенного зубчатого колеса вала коробки передач автомобиля ЗИЛ-131, в результате чего получен чертеж детали, что очень важно при технологической подготовке ремонтного производства.

При проведении исследований авторами [4] установлено, что для сканирования малогабаритных судовых стоит отдавать предпочтение сканерам, имеющим коррекцию по базовым меткам и лазерный излучатель красного или инфракрасного спектра.

Авторами [5] с применением методов 3D сканирования получен печатный прототип с помощью которого была изготовлена литая заготовка корпуса редуктора. Сборка и установка редуктора на автомобиль показала полное соответствие конструктивно-технологическим требованиям к предъявляемому изделию.

При проведении исследований авторами [6] предлагается автоматизированная система, которая может самостоятельно без участия оператора просканировать весь объект, осуществляя перемещение узлов механизации на основании информации об исследуемой поверхности, полученной в процессе сканирования.

В работе [7] представлена методика для обратного проектирования детали из композитного материала, где фиксируется не только геометрия, но и рассматривается траектория движения инструмента при 3D-печати с использованием машинного обучения в зависимости от микроструктуры объекта. Для модели с обратным проектированием достигается точность размеров с разницей всего в 0,33%.

Выводы

1. Реверс-инжиниринг с использованием методов 3D сканирования является перспективной технологией, позволяющей с минимальными затратами получить аналог детали, соответствующей требованиям, предъявляемым к изделию.

2. Существующие технологии изготовления деталей в зависимости от геометрических параметров и используемого материала позволяют достигнуть требуемые характеристики изделия с использованием заменяющих материалов.

Библиографический список

1. Реверс-инжиниринг – инструмент для импортозамещения // © АО «РОСБИЗНЕС-СКОНСАЛТИНГ», 1995-2022. 2022. 19 мая. URL: <https://companies.rbc.ru/news/949e648d-6ad7-4483-81f9-b1d5e455291b/revers-inzhiniring---instrument-dlya-importozamescheniya> (дата обращения: 27.11.2022).

2. 3D-сканирование для реверс-инжиниринга и оптимизации производственных процессов // © 2019 Shining3D. 2022. 30 августа. URL: <https://www.shining3d.ru/blog/revers-inzhiniring> (дата обращения: 27.11.2022).

3. Хлебников К.И., Голубев М.И. Реверс-инжиниринг изношенных деталей при ремонте лесных машин. Научный потенциал молодежи и технический прогресс: Материалы III международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15 мая 2020 года, Санкт-Петербург, Индивидуальный предприниматель Жукова Елена Валерьевна, 2020, С. 27-29.

4. Зобов П.Г., Дектярев А.В., Морозов В.Н. Сравнительный анализ сканирования мелкогабаритных судовых изделий машиностроительной части со сложной внутренней конструкцией при помощи различных моделей 3D-сканеров. Известия КГТУ, 2020, № 56, С. 159-171.

5. Тукабайов Б.Н., Баринов А.Ю., Никитин К.В. Применение реверс-инжиниринга для реставрации деталей автомобильного назначения. Инновационные технологии в литейном производстве: Сборник трудов Международной научно-технической конференции, посвящённой 150-летию факультета «Машиностроительные технологии» и кафедры «Технологии обработки материалов» МГТУ им. Н.Э. Баумана, М., Московский государственный областной университет, 2019, С. 355-359.

6. Селищев Д.Н. Автоматизация проектирования на основе реверс-инжиниринга. Шаг в науку, 2019, № 2, С. 62-64.

7. Yanamandra K., Chen G., Xu X., Mac G., Gupta N. Reverse engineering of additive manufactured composite part by toolpath reconstruction using imaging and machine learning. Composites Science and Technology, 2020, n. pag.

References

1. Reverse engineering - a tool for import substitution // © ROSBUSINESS CONSULTING JSC, 1995-2022. 2022. May 19. URL: <https://companies.rbc.ru/news/949e648d-6ad7-4483-81f9-b1d5e455291b/revers-inzhiniring---instrument-dlya-importozamescheniya> (release date: 11/27/2022).

2. 3D scanning for reverse engineering and optimization of production processes // © 2019 Shining3D. 2022. August 30. URL: <https://www.shining3d.ru/blog/revers-inzhiniring> (accessed: 11/27/2022).

3. Khlebnikov K.I., Golubev M.I. Reverse engineering of worn parts during the repair of forest machines. Scientific potential of youth and technical progress: Materials of the III International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, May 15, 2020, St. Petersburg, Individual entrepreneur Zhukova Elena Valeryevna, 2020, pp. 27-29.

4. Zobov P.G., Dektyarev A.V., Morozov V.N. Comparative analysis of scanning of small-sized ship products of the machine-building part with a complex internal structure using various models of 3D scanners. Izvestiya KSTU, 2020, No. 56, pp. 159-171.

5. Tukabayov B.N., Barinov A.Yu., Nikitin K.V. The use of reverse engineering for the restoration of automotive parts. Innovative technologies in foundry production: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 150th anniversary of the Faculty of Mechanical Engineering Technologies and the Department of Materials Processing Technologies of Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Moscow State Regional University, 2019, pp. 355-359.

6. Selishchev D.N. Design automation based on Reverse Engineering. Step into Science, 2019, No. 2, pp. 62-64.

7. Yanamandra K., Chen G., Xu X., Mac G., Gupta N. Reverse engineering of additive manufactured composite part by toolpath reconstruction using imaging and machine learning. Composites Science and Technology, 2020, n. pag.

*Российский университет транспорта
(МИИТ)*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры «Наземные
транспортно-технологические средства»*

П.А. Григорьев

Россия, г. Москва, тел. +7(915) 434-07-24

e-mail: grigorievpavel1996@yandex.ru

*Российский университет транспорта
(МИИТ)*

*Канд. техн. наук, зав. кафедрой «Наземные
транспортно-технологические средства»*

А.Н. Неклюдов

Россия, г. Москва, тел. +7(926) 792-55-04

e-mail: alexis_skin@mail.ru

Russian University of Transport

*D.Sc.(Engineerin), Associate prof. of the de-
partment «Ground transportation and techno-
logical means»*

P.A. Grigorev

Russia, Moscow, tel. +7(915) 434-07-24

e-mail: grigorievpavel1996@yandex.ru

Russian University of Transport

*D.Sc.(Engineerin), Head of the department
«Ground transportation and technological
means»*

A.N. Nekludov

Russia, Moscow, tel. +7(926) 792-55-04

e-mail: alexis_skin@mail.ru

П.А. Григорьев, А.Н. Неклюдов

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D ПЕЧАТИ ДЛЯ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В условиях импортозамещения и сложности поставки быстроизнашиваемых элементов конструкций наземных транспортно-технологических средств необходимо рассмотреть возможные технологии для быстрого изготовления таких изделий. С этой целью проведено исследование наработок в области 3D печати деталей экструзией, что позволило определить основные факторы, влияющие на их физико-механические свойства.

Ключевые слова: импортозамещение, экструзия, 3D печать, аддитивные технологии.

P.A. Grigorev, A.N. Nekludov

MODERN 3D PRINTING TECHNOLOGIES FOR IMPORT SUBSTITUTION DETAILS OF GROUND VEHICLES

In the context of import substitution and the complexity of the supply of rapidly wearable structural elements of ground transport and technological means, it is necessary to consider possible technologies for the rapid manufacture of such products. To this end, a study of developments in the field of 3D printing of parts by extrusion was carried out, which made it possible to determine the main factors affecting their physical and mechanical properties.

Keywords: import substitution, extrusion, 3D printing, additive technologies.

В настоящее время одной из самых стремительно развивающихся технологий изготовления изделий единичного производства является 3D печать. Данный вид аддитивных технологий позволяет создавать изделия с различной конфигурацией без осуществления специализированной подготовки производственных цехов. При условии сбоя поставок быстроизнашиваемых деталей для наземных транспортно-технологических средств, технологии 3D печати, на наш взгляд, имеют значительные перспективы. Все современные методы 3D печати можно разделить на несколько основных групп, которые представлены на рис. 1 [1].

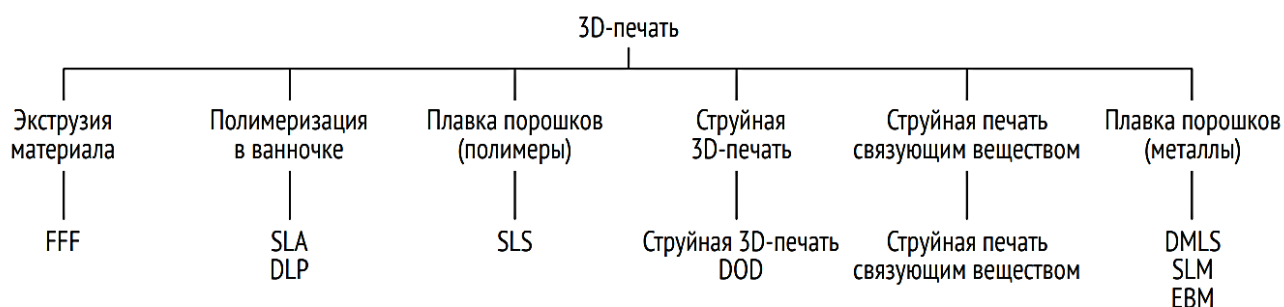


Рис. 1. Классификация методов 3D печати

С точки зрения использования для элементов конструкций машин в различных условиях нагружения приоритетней всего использовать три основных вида технологий, такие как:

- экструзия материала;
- фотополимеризация смол;
- плавка полимерных или металлических порошков.

Более подробно рассмотрим направления совершенствования технологии экструзии материала, которая в настоящее время является одной из самых распространенных и требует меньшей затраты ресурсов. Исследование векторов развития технологии экструзии позволит расширить границы её применимости для изготовления различных видов деталей и конструкций.

В работе [2] авторы предлагают модификацию пластика АБС с применением органически модифицированного монтмориллонита (ОММТ). В результате проведения испытаний модифицированных деталей было установлено, что:

- образцы, изготовленные при помощи 3D печати, имеют на 43% большую прочность на растяжение;
- образцы, изготовленные при помощи литья под давлением, имеют на 28,9% большую прочность на растяжение;
- обнаружено, что добавление ОММТ значительно увеличило модуль растяжения, прочность при изгибе, модуль упругости при изгибе, а также уменьшило коэффициент линейного теплового расширения.

В исследовании [3] разработана новая двухступенчатая модель термической обработки и спекания для прогнозирования процесса образования связей между нитями при процессе экструзивной печати. Предлагаемое решение открывает новые возможности для проектирования полимерных компонентов, напечатанных на 3D-принтере, с пользовательскими свойствами, непосредственно с точки зрения производственных настроек.

Авторами [4] предлагается технология, предназначенная для ориентации графитовых включений при печати полимерами относительно выбранной плоскости. Данный способ позволит повысить теплопроводность деталей, что подтверждено экспериментальными исследованиями.

При проведении исследований [5] предлагается использование для технологий 3D печати полиэфир-эфиркетона (ПЕЕК), который может заменить металл. В результате эксперимента установлено, что метод 3D-печати с контролем температуры данного материала обладает огромным потенциалом для проектирования, контроля и реализации различных степеней кристалличности и механических свойств для различных деталей.

Авторами [6] предлагается использовать композитное сырье для 3D-печати, в котором углеродные волокна внедряются в термопластичную матрицу для повышения прочности и жесткости. После проведения экспериментальных исследований установлено, что печать с увеличением длины волокна в коротковолокнистой нити, приведет к повышению механических свойств, потенциально приближающихся к свойствам непрерывных волокнистых композитов, при сохранении высокой степени свободы проектирования.

В работе [7] был использован метод моделирования наплавленного осаждения для изучения возможности улучшения механических свойств путем изменения тепловых условий процесса печати с применением экструзии. При проведении экспериментальных исследований некоторые образцы подвергались термической обработке путем отжига. Для всех подготовленных образцов ключевые изменения механических свойств связаны с содержанием кристаллической фазы оксипропионовой кислоты, что привело к улучшению свойств отожженных образцов.

Выводы

1. В результате анализа было установлено, что использование дополнительных включений в различные виды пластиков при 3D печати может существенно изменять их физико-механические свойства, тем самым это даёт широкую возможности применения таких материалов в зависимости от назначения элемента конструкции.

2. В зависимости от термических режимов 3D печати значительно изменяется структура получаемого материала, а также адгезионная связь между слоями детали. Точная корректировка производственных настроек позволит получить изделия с требуемыми физико-механическими характеристиками.

Библиографический список

1. Рэдвуд Б. 3D-печать. Практическое руководство: руководство / Б. Рэдвуд, Ф. Шофер, Б. Гаррэт; перевод с английского М.А. Райтмана. М., ДМК Пресс, 2020, 220 с.
2. Weng Z., Wang J., Senthil T.S., Wu L. Mechanical and thermal properties of ABS/montmorillonite nanocomposites for fused deposition modeling 3D printing. *Materials & Design*, 2016, V. 102, P. 276-283.
3. Garzon-Hernandez S., Garcia-Gonzalez D., Jerusalem A., Arias, A. Design of FDM 3D printed polymers: An experimental-modelling methodology for the prediction of mechanical properties. *Materials & Design*, 2022, n. pag.
4. Jia Yunchao, He Hui, Geng, Yi, Huang Bai, Peng Xiaodong. High through-plane thermal conductivity of polymer based product with vertical alignment of graphite flakes achieved via 3D printing. *Composites Science and Technology*, 2017, V. 145, P. 55-61.
5. Yang C., Tian X., Li D., Yi C., Zhao F., Changquan, S. Influence of thermal processing conditions in 3D printing on the crystallinity and mechanical properties of PEEK material. *Journal of Materials Processing Technology*, 2017, V. 248, P. 1-7.
6. Blok L.G., Longana M.L., Yu H., Woods B.K. An investigation into 3D printing of fibre reinforced thermoplastic composites. *Additive Manufacturing*, 2018, n. pag.
7. Benwood C., Anstey A., Andrzejewski J., Misra M., Mohanty A.K. Improving the Impact Strength and Heat Resistance of 3D Printed Models: Structure, Property, and Processing Correlations during Fused Deposition Modeling (FDM) of Poly (Lactic Acid). *ACS Omega*, V. 3(4), P. 4400-4411.

References

1. Redwood B. 3D printing. Practical guide: manual / B. Redwood, F. Schaefer, B. Garrett; translated from English by M.A. Reitman. Moscow, DMK Press, 2020, 220 sec.
2. Weng Z., Wang J., Senthil T.S., Wu L. Mechanical and thermal properties of ABS/montmorillonite nanocomposites for fused deposition modeling 3D printing. *Materials & Design*, 2016, V. 102, P. 276-283.

3. Garzon-Hernandez S., Garcia-Gonzalez D., Jerusalem A., Arias, A. Design of FDM 3D printed polymers: An experimental-modelling methodology for the prediction of mechanical properties. *Materials & Design*, 2022, n. pag.
4. Jia Yunchao, He Hui, Geng, Yi, Huang Bai, Peng Xiaodong. High through-plane thermal conductivity of polymer based product with vertical alignment of graphite flakes achieved via 3D printing. *Composites Science and Technology*, 2017, V. 145, P. 55-61.
5. Yang C., Tian X., Li D., Yi C., Zhao F., Changquan, S. Influence of thermal processing conditions in 3D printing on the crystallinity and mechanical properties of PEEK material. *Journal of Materials Processing Technology*, 2017, V. 248, P. 1-7.
6. Blok L.G., Longana M.L., Yu H., Woods B.K. An investigation into 3D printing of fibre reinforced thermoplastic composites. *Additive Manufacturing*, 2018, n. pag.
7. Benwood C., Anstey A., Andrzejewski J., Misra M., Mohanty A.K. Improving the Impact Strength and Heat Resistance of 3D Printed Models: Structure, Property, and Processing Correlationships during Fused Deposition Modeling (FDM) of Poly (Lactic Acid). *ACS Omega*, V. 3(4), P. 4400-4411.

*Воронежский государственный
технический университет
Канд. техн. наук, доц. кафедры
строительной техники и инженерной
механики имени профессора Н.А. Ульянова
Р.А. Жилин
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 271-59-18
e-mail: zhilinra@yandex.ru
Студенты дорожно-транспортного
факультета
Г.М. Картавцев, В.С. Ходцев
Россия, г. Воронеж*

*Voronezh State
Technical University
D.Sc.(Engineerin), Associate prof. of the chair
construction machinery and engineering
mechanics of a name of professor N.A. Ulyanov
R.A.Zhilin
Russia, Voronezh, tel. +7(473) 271-59-18
e-mail: zhilinra@yandex.ru
Students of the Road and Transport
Faculty
G.M.Kartavcev, V.S.Hodcev
Russia, Voronezh*

Р.А. Жилин, Г.М. Картавцев, В.С. Ходцев

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА

В статье рассмотрены примеры использования двигателей Стирлинга. Изложены основные моменты истории модернизации двигателя. Выявлены достоинства и недостатки изобретения. Приведен вариант улучшения примитивной модели двигателя Стирлинга.

Ключевые слова: двигатель Стирлинга, двигатель внешнего сгорания, модернизация Стирлинга, развитие двигателестроения.

R.A. Zhilin, G.M. Kartavcev, V.S. Hodcev

THE PROMISE OF A STIRLING ENGINE

The article considers examples of the use of Stirling engines. The main points of the history of engine modernization are outlined. The pros and cons of the invention are revealed. An example of improving the primitive model of the Stirling engine is given.

Keywords: Stirling engine, external combustion engine, Stirling modernization, development of engine building.

Развивая тему двигателей, люди заострили своё внимание именно на двигателях внутреннего сгорания, но кто бы мог подумать, что запатентованный в 1816 году двигатель внешнего сгорания будет иметь какую-либо актуальность и по сей день. Конечно, в том виде в котором Стирлинг миру представил своё творение, в данный момент сложно сравнить с современными двигателями внутреннего сгорания. Это действительно так, но его модернизация позволяет найти своё применение в настоящем, несомненно меняя представление о будущем.

В предыдущей нашей научной статье [1] мы подробно рассмотрели работу двигателя внешнего сгорания. Построив действующую модель, мы привели пример одного из применений, даже такого простого на первый взгляд, изобретения.

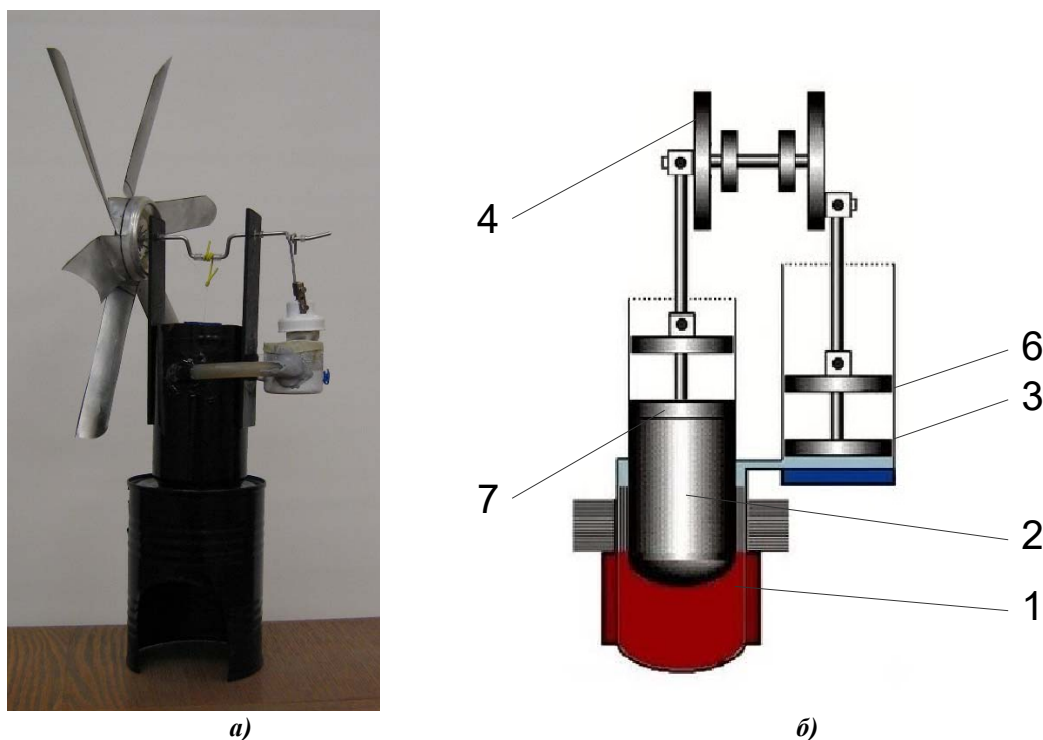


Рис. 1. Двигатель Стирлинга:

а – лабораторная модель; *б* – схема двигателя;

1 – источник тепла, 2 – рабочее тело первого контура, 3 – регенератор, 4 – кривошип,
5 – маховое колесо, 6 – мембрана, 7 – поршень

Данная установка выполняла функцию обогревателя, разгоняя нагреваемый воздух вблизи установленного места. Модернизировать данную модель можно было бы добавив к ней электрогенератор, работающий от момента вращения лопастей. Пример применения такой установки мог бы быть туристический поход, позволяющий продемонстрировать актуальность зарядки какого-либо гаджета через данный двигатель от источника тепла.

Возможность создания установок более серьезного применения основывается на уже сделанных механизмах, имеющих в своей основе двигатель Стирлинга. Примерно в середине 80-х годов 20-го века в США собрали и установили такой двигатель в легковой автомобиль Chevrolet Celebrity.



Рис. 2. Внешний вид легкового автомобиля Chevrolet Celebrity

Результаты удивили инженеров: катализатор, глушитель и смазки были уже не нужны, а экономия топлива достигала 45%, при практически неизменном ускорении.

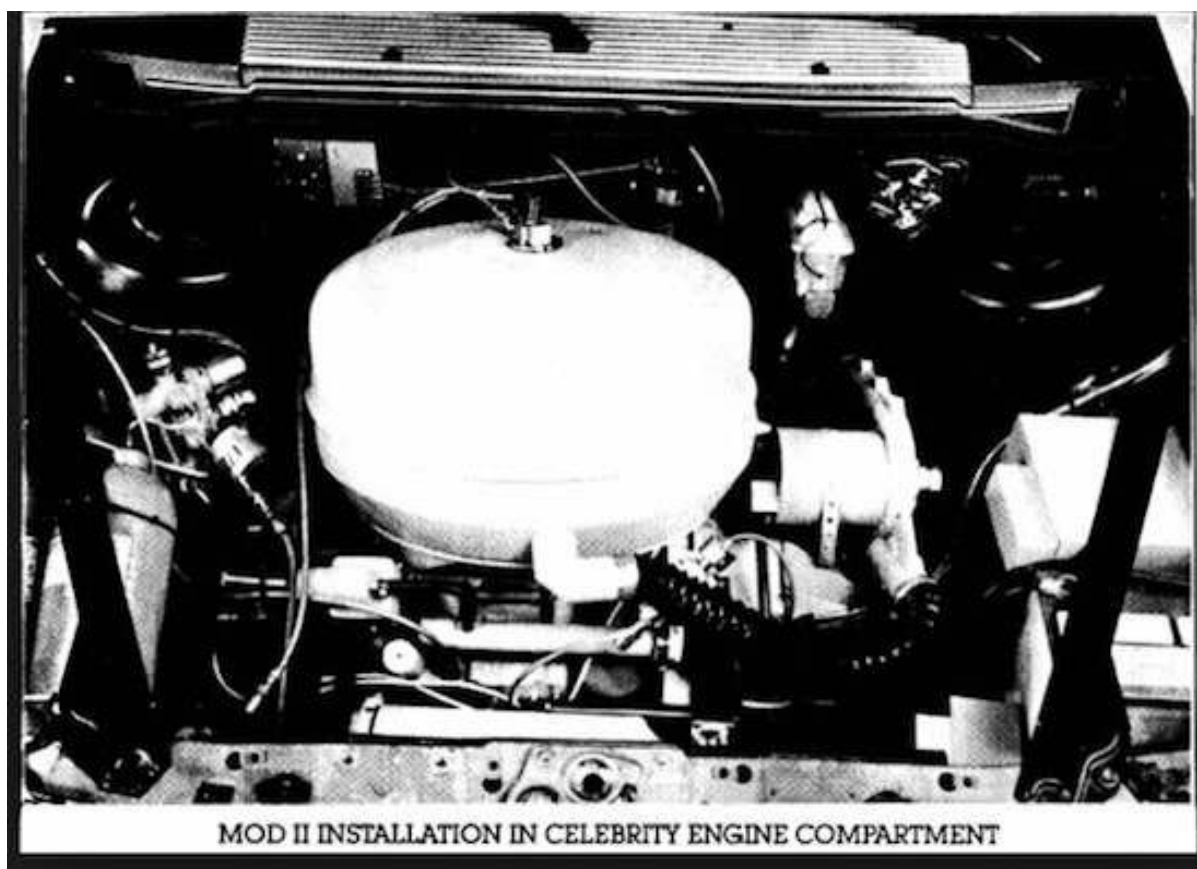


Рис. 3. Двигатель легкового автомобиля Chevrolet Celebrity

Не обошлось и без недостатков. Как выяснилось, чтобы получить максимально достижимый КПД на практике, необходимо было обеспечить достаточно высокую разницу температур в горячих и холодных частях цилиндра. Так же как и идеальным рабочим телом является водород, в тот момент его применение было затруднено из-за того, что его молекулы малы и им удавалось «напитывать» материал цилиндра. При использовании других газов получаем дополнительные потери на мощности. Тем не менее все вышеупомянутые недостатки, не смогли помешать фирме «Philips Stirling Engine», создать переносной электрогенератор Стирлинга. Сделанная в начале 50-х годов модель MP1002CA надежно работала и выпускалась в массовое производство.

В последние годы происходят значительные изменения в рынке двигателей Стирлинга. К созданию этих двигателей начали приступать почти все крупнейшие энергокомпании мира. Основные мировые компании «TODEM», «CumminsPowerGeneration», «ToshibaCorp.», «MitsubishiElectricCorp.» и др. заявили о своих программах по двигателю Стирлинга. В 2007 году были созданы такие крупные объединения, как европейский швейцарский и немецкий концерн «Stirling Systems AG» и транснациональная корпорация, в состав которой входят ведущие американские, японские, итальянские и немецкие энергетические фирмы («Merloni Termosanitari (MTS Group)» (Италия), «Bosch Group» (Германия), «Rinnai» (Япония), «Infinia» (США)). Появление таких крупнейших компаний вызывает более высокие требования к эффективности энергосистем и использованию энергоресурсов возобновляемого типа. В ближайшее время — это может спровоцировать жесткую конкуренцию рынка двигателей, энергетических агрегатов в целом. Сейчас перспективы использования стерлинговых машин ста-

ли очевидны всеми промышленно развитыми странами мира. Ведущими в области проектирования и создания машин Стирлинга являются США, Великобритания, Япония, ФРГ, Швеция и Нидерланды. Кроме того, начались интенсивные исследования по двигателям в Китае, ЮАР, Австралии, Израиле, Канаде, Индии и ряде других стран. Из отечественных производителей нельзя не отметить фирму «ЭНЕРГОТОНИКА», которая, находясь в Магнитогорске, на данный момент выпускает многотопливный мини теплоэлектрогенератор с двигателем Стирлинга ГДС-150.



Рис. 4. Теплоэлектрогенератор с двигателем Стирлинга ГДС-150

Так же если рассматривать сферы применения, то двигатели Стирлинга неплохо подходит для превращения в электроэнергию теплоты солнечных электроустановок.

Их применяют как автономные генераторы для туристов. Некоторые предприятия выпускают генераторы, которые работают от конфорок газовой печи.



Рис. 5. Автономный генератор для туристов на базе двигателя Стирлинга

Таким образом, подводя итоги, можно выделить следующие преимущества самого двигателя Стирлинга:

1. Являются двигателями внешнего подвода теплоты и могут использоваться там, где работа других двигателей проблематична (подводные лодки и т. д.)
2. Экономичность и более высокая, чем у двигателей внутреннего сгорания экологичность (рабочим телом двигателя может служить любая жидкость или газ, движущийся в замкнутом объёме)
3. Бесшумная работа
4. Возможность использования различных источников тепла, начиная с традиционных органических топлив и кончая энергией радиоактивного распада и солнечной радиации.

Конечно подчёркивая преимущества необходимо учитывать и имеющиеся недостатки:

1. Материалоёмкость. У двигателей внешнего сгорания вообще, и двигателя Стирлинга в частности, рабочее тело необходимо охлаждать, и это приводит к существенному увеличению массогабаритных показателей силовой установки за счёт увеличенных радиаторов.
2. Стоимость. Тепло не подводится к рабочему телу непосредственно, а только через стенки теплообменников. Стенки имеют ограниченную теплопроводность, из-за чего КПД оказывается ниже, чем можно было ожидать. Горячий теплообменник работает в очень напряженных условиях теплопередачи, и при очень высоких давлениях, что требует применения высококачественных и дорогих материалов.

В заключении, хотелось бы добавить, что развитие такого направления как «стирлинго-строение» вполне может помочь сократить имеющиеся недостатки, сильно увеличивая преимущественную часть данного изобретения.

Библиографический список

1. Жилин Р.А. Особенности моделирования двигателя Стирлинга / Жилин Р.А., Картавцев Г.М., Ходцев В.С. // Высокие технологии в строительном комплексе. Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2022. № 1. С. 64-67.
2. Современный двигатель Стирлинга: историческая справка, серийные генераторы – <https://dzen.ru/media/alter220/sovremennyi-dvigatel-stirlinga-5ea70424007c871a15903471>
3. Сравнительный анализ применения двигателя Стирлинга и дизельного генератора в системах электроснабжения – <https://moluch.ru/archive/112/28503/>
4. Н.Г. Кириллов, доктор технических наук: новое перспективное направление в области двигателестроения – <https://www.sovmash.com/node/98html>
5. Дмитрий Петраков, принцип работы электрогенератора на базе двигателя Стирлинга – <https://www.youtube.com/watch?v=gr33Src7M0Y>

References

1. Zhilin R.A. Peculiarities of Stirling engine modeling / Zhilin R.A., Kartavtsev G.M., Khodtsev V.S. // High Technologies in Building Complex. Voronezh: Voronezh State Technical University. 2022. № 1. С. 64-67.
2. Modern Stirling engine: historical background, serial generators - <https://dzen.ru/media/alter220/sovremennyi-dvigatel-stirlinga-5ea70424007c871a15903471>
3. Comparative analysis of the use of a Stirling engine and a diesel generator in power supply systems - <https://moluch.ru/archive/112/28503/>
4. N.G. Kirillov, Doctor of Technical Sciences: new promising direction in the field of engine building – <https://www.sovmash.com/node/98html>
5. Dmitry Petrakov, the principle of operation of an electric generator based on a Stirling engine– <https://www.youtube.com/watch?v=gr33Src7M0Y>

*Воронежский государственный
технический университет
Канд. техн. наук, доц. кафедры
строительной техники и инженерной
механики имени профессора Н.А. Ульянова
Р.А. Жилин
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 271-59-18
e-mail: razhilin@yandex.ru
Магистрант кафедры строительной
техники и инженерной механики имени
профессора Н.А. Ульянова
А.И. Мальцев
Россия, г. Воронеж,
e-mail: lixoj.karasik@gmail.com*

*Voronezh State
Technical University
D.Sc.(Engineerin), Associate prof. of the chair
construction machinery and engineering
mechanics of a name of professor N.A. Ulyanov
R.A. Zhilin
Russia, Voronezh, tel. +7(473) 271-59-18
e-mail: razhilin@yandex.ru
Master's student of the of the chair construction
machinery and engineering mechanics of a name
of professor N.A. Ulyanov
A.I. Maltsev
Russia, Voronezh,
e-mail: lixoj.karasik@gmail.com*

Р.А. Жилин, А.И. Мальцев

СМЕННОЕ НАВЕСНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МОНТАЖА КРУПНОГАБАРИТНЫХ ШИН К ФРОНТАЛЬНОМУ ПОГРУЗЧИКУ ЧТЗ ПК-65

В работе рассматривается задачи организации работы машин, создание дополнительного сменного рабочего оборудования, которое позволит расширить технологические возможности применения существующих машин, повысить производительность труда и снизить трудовые затраты.

Ключевые слова: навесное оборудование, фронтальный погрузчик, монтажа и демонтажа колес и шин.

R.A. Zhilin, A.I. Maltsev

INTERCHANGEABLE ATTACHMENT EQUIPMENT FOR MOUNTING LARGE-SIZED TIRES TO THE FRONT LOADER

The work considers the objectives of the organization of machines, the creation of additional interchangeable working equipment, which will expand the technological capabilities of the existing machines, increase productivity and reduce labor costs.

Keywords: attachment, front loader, mounting and dismounting of wheels and tires.

Технологии послойного синтеза, так называемые аддитивные технологии, уверенно вошли в современную промышленность. Они дают возможность конструкторам создавать изделия, форму которых невозможно получить традиционными методами. 3D-печать позволяет использовать большой спектр различных материалов, начиная от керамики и заканчивая тканями человека.

Высокоэффективное использование новой, а также имеющейся старой техники имеет большое значение в развитии строительного комплекса. Применение передовых методов организации технического обслуживания и ремонта машин, постоянное совершенствование

технологий, внедрение научных разработок и новейшего является важнейшей задачей инженерно-технических работников. С целью сокращения сроков и улучшения качества ремонта возникает необходимость укомплектования базы новым универсальным оборудованием для технического обслуживания и ремонта, в частности для монтажа и демонтажа крупногабаритных шин.

Существует множество конструктивных решений колесосъемников. Но зачастую они представляют собой технически сложные устройства, не предлагающие ничего, кроме транспортировки колес до станции техобслуживания.

Наибольший интерес для разрабатываемого оборудования представляет изобретение № 95112724/11 [1]. Предлагаемое дополнительное сменное рабочее оборудование к фронтальному погрузчику для монтажа и демонтажа крупногабаритных шин и колес позволяют расширить технологические возможности фронтальных погрузчиков, сократить применение ручного труда и трудоемкость выполняемых работ при ремонте шин, повысить производительность труда, обеспечить безопасность работ, и в целом улучшить условия обслуживания и ремонта дорожно-строительных машин.

Общий вид приспособления для демонтажа и монтажа колес и шин, установленное на фронтальный погрузчик ПК – 65 изображено на рисунке 1.

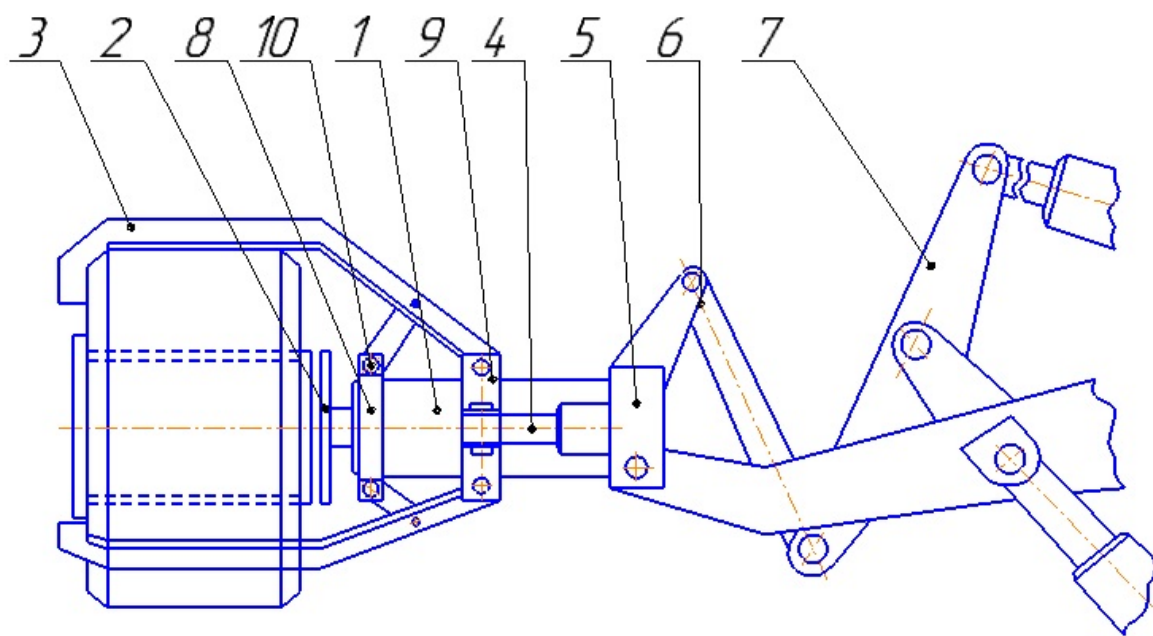


Рис. 1. Приспособление на фронтальный погрузчик для монтажа и демонтажа колес и шин

Приспособление к погрузчику для монтажа и демонтажа колес и шин, содержит телескопический гидроцилиндр 1 с крестообразным упором 2, жестко закрепленный на продольной балке 5. В свою очередь балка навешивается на стрелу фронтального погрузчика вместо ковша и крепится двумя пальцами к проушинам стрелы. Захватные рычаги 3 управляются с помощью двух гидроцилиндров 4, жестко закрепленных на продольной балке и штоками соединены с подвижным кольцом 9, на которые прикреплены через проушины три захватных рычага. На телескопическом гидроцилиндре неподвижно закреплено еще одно кольцо 8 с проушинами для соединения и управления рычагов захвата. На продольной балке в центре расположен кронштейн 6, который соединяется с рычажно-гидравлической системой управления положением ковша 7. Таким образом, достигается возможность поворота сменного оборудования в горизонтальную плоскость.

Перед началом работы обслуживаемую технику поднимают на подъемнике или домкрате до высоты, достаточной для снятия колеса с техники. Оператор погрузчика подводит приспособление к колесу, и приводя в действие гидроцилиндры захвата 4, закрепленные на поворотной раме 5 и подвижном кольце 9, зажимает колесо захватными рычагами 3, которые соединены с неподвижным кольцом телескопического гидроцилиндра 8 посредством шарнирных звеньев 10. Затем он движением погрузчика назад снимает колесо с машины и отвозит его на место хранения или на ремонтный стенд. На месте демонтажа оператор при помощи рычажно-гидравлической системы управления положением ковша 7 через кронштейн 6 переводит приспособление вместе с колесом в горизонтальное положение. Затем устанавливает крестообразный упор 2 на обод и приводит в действие телескопический гидроцилиндр 1 для выдавливания обода из колеса.

Выводы

1. Таким образом, дополнительное сменное рабочее оборудование к фронтальному погрузчику для монтажа и демонтажа крупногабаритных шин и колес представляет новую оригинальную конструкцию, характеризующуюся простотой в изготовлении и эксплуатации.
2. Рассмотренная конструкция может быть использована при монтаже и демонтаже шин и колес большегрузных автомобилей разных размеров.

Библиографический список

1. Куприн Н.П. Приспособление к погрузчику для монтажа и демонтажа колес и шин. RU95112714A1, B60C025/132, Заявлено 19.07.95, получено положительное решение 27.06.97г.

References

1. Kuprin N.P. Attachment to a loader for mounting and dismantling wheels and tires. RU95112714A1, B60C025/132, Declared 19.07.95, a positive decision was received on 27.06.97.

*Воронежский государственный
технический университет
Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-
ной техники и инженерной механики имени
профессора Н.А. Ульянова
Р.А. Жилин
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 271-59-18
e-mail: razhilin@yandex.ru
Магистрант кафедры строительной тех-
ники и инженерной механики имени про-
фессора Н.А. Ульянова
Д.Я. Свеженцев
Россия, г. Воронеж,
e-mail: Kyn_1910@mail.ru*

*Voronezh State
Technical University
D.Sc.(Engineerin), Associate prof. of the chair
construction machinery and engineering me-
chanics of a name of professor N.A. Ulyanov
R.A. Zhilin
Russia, Voronezh, tel. +7(473) 271-59-18
e-mail: razhilin@yandex.ru
Master's student of the of the chair construction
machinery and engineering mechanics of a name
of professor N.A. Ulyanov
D.Ya. Svezhentsev
Russia, Voronezh,
e-mail: Kyn_1910@mail.ru*

Р.А. Жилин, Д.Я. Свеженцев

БУРОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ К МАЛОГАБАРИТНОМУ ПОГРУЗЧИКУ

В работе представлено описание малогабаритного погрузчика со сменными навесными агрегатами. Рассматривается возможность применения малогабаритных машин в стеснённых условиях.

Ключевые слова: буровое оборудование, малогабаритный погрузчик, гидравлический бур, гидромотор, гидропривод.

R.A. Zhilin, D.Ya. Svezhentsev

DRILLING EQUIPMENT FOR A SMALL LOADER

The paper presents a description of a small-sized loader with replaceable attachments. The possibility of using small-sized machines in cramped conditions is being considered.

Keywords: drilling equipment, small loader, hydraulic drill, hydraulic motor, hydraulic drive.

Изучая необходимость расширения возможностей малогабаритных погрузчиков и потребности строительных организаций в универсальном оборудовании, возникает много вопросов, связанных как с экономическими возможностями отдельных отраслей, так и с задачами оперативного выполнения разнообразнейших работ в условиях большой протяженности хозяйственных объектов.

Специализированное оборудование, имеющее узкую специализацию, не всегда используется с полной загрузкой. От долгого бездействия оно стареет физически и морально. В то же время смешанные навесные механизмы стоят на много дешевле, требуют меньших площадей для хранения, могут использоваться с различными однотипными машинами и значительно экономичнее в обслуживании. Поэтому задача создания смешанного оборудования для типовой серийной техники не должна ограничиваться разработкой одного бурильного агрегата. Необходимо разрабатывать механизмы и агрегаты, навешиваемые на стрелу по-

грузчика без демонтажа гидроцилиндров, что позволит упростить применение сменных механизмов.

В ряду легких машин целесообразно появление многофункциональных бурильно-монтажных манипуляторных установок, оснащенных бурильным оборудованием, грузозахватными и другими устройствами.

Необходимо рассмотреть вопросы разработки и последующего применения на малогабаритных машинах бурового оборудования предельно максимального диаметра, что непосредственно влияет на эксплуатационную производительность машины.

Актуальность данного направления заключается в том, что в настоящее время техника, оснащённая сменным навесным оборудованием может использоваться при строительстве, ремонте линий электропередач и связи, дорожном обустройстве. Кроме того такое оборудование может свободно применяться для копки колодцев в районах с высоким залеганием грунтовых вод, в зимнее время возможно бурение с берега льда на реках и озерах, для устройства водозабора.

Удобство использования малогабаритных машин с навесными агрегатами для аварийно-спасательных работ заключается в том, что такая машина может быть применена в различных труднодоступных районах, местах, имеющих стесненные по каким-либо причинам участки, не позволяющие использование более крутых и тяжелых бурильных установок.

Навесные агрегаты изготавливаются из стандартных узлов и деталей поэтому производство их намного дешевле изготовления и применения специализированных машин.

Машина состоит из рабочего органа – гидравлического бура, рамы, кабины, радиатора, колес, силовой установки, системы управления двигателем, топливной и гидравлической системы, электрооборудования, установки стрелы (Рис. 1).

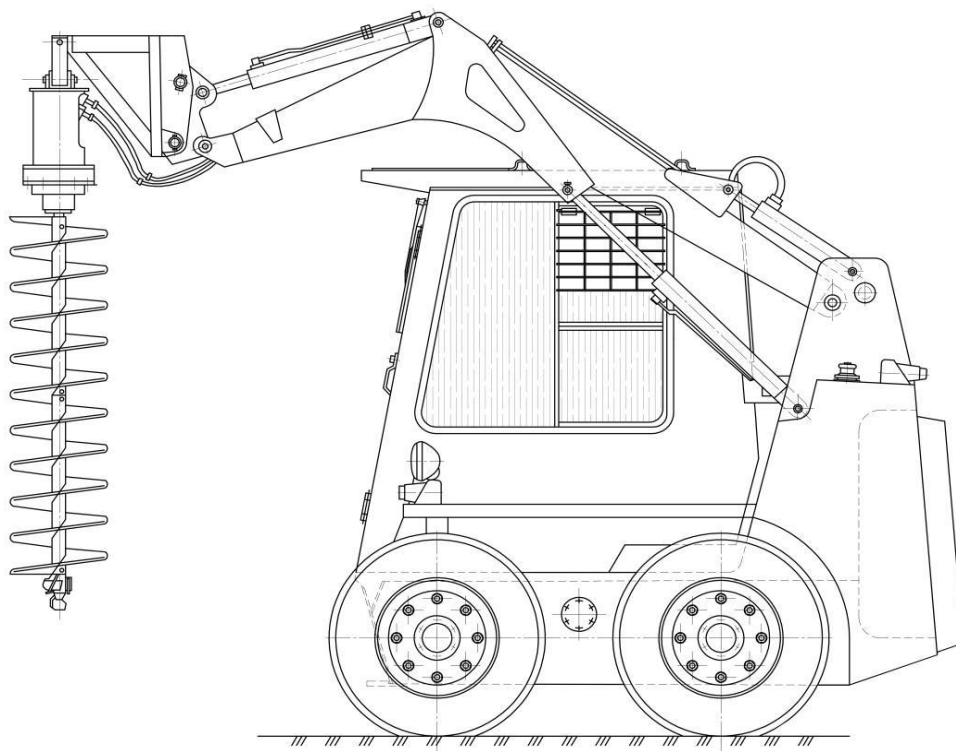


Рис. 1. Малогабаритный погрузчик с установленным гидравлическим буром

На раме установлена кабина оператора, в которой расположены элементы управления машиной. В задней части машины расположена дверь, обеспечивающая доступ к обслуживанию двигателя.

Силовым агрегатом является двигатель. Крутящий момент оси коленчатого вала двигателя через муфту передается на редуктор, на котором смонтированы два регулируемых насоса привода хода машины и один нерегулируемый насос поворота рабочего оборудования. Регулируемые насосы гидравлически связаны с гидромотором хода, а нерегулируемый насос – с гидроцилиндрами рабочего оборудования.

Передачу крутящего момента от гидромоторов на колеса машин осуществляют посредством двух редукторов. Таким образом, привод хода машины состоит из двух независимых систем, каждая из которых приводит во вращение колеса одного борта.

Изменение скорости движения машины осуществляется изменением подачи насосов, изменение направления движения – изменением направления подачи тех же насосов, поворотом – за счет неодинаковой подачи насосов привода правых и левых колес.

Торможение машины осуществляется за счет гидропривода (при сбросе до нуля). Для удержания машины на стоянке, редуктора привода колес снабжены автоматическими нормально замкнутыми тормозами. Гидросистема рабочего оборудования открытого типа.

Выводы

1. Представленная конструкция малогабаритного погрузчика с навесными агрегатами отвечает требованиям к технике при проведении аварийно-спасательных работ.

2. Машина может быть применена в различных труднодоступных районах, местах, имеющих стесненные по каким-либо причинам участки, не позволяющие использование более крутых и тяжелых бурильных установок.

Библиографический список

1. Биргер И.А., Шарр Б.Ф., Иашевич Г.Б. Расчёт на прочность деталей машин: Справочник. — М: Машиностроение 1979. — 702с.
2. Живейков Н.Н., Карасев Г.Н., Извей И.Ю. Строительная механика и металлоконструкции строительных и дорожных машин. — М: Машиностроение 1988. - 280с.
3. Ульянов Н.А. Теория самоходных колесных землеройно-транспортных машин. — М: Машиностроение 1969.- 520с.
4. Филиппов Б.И. Охрана труда при эксплуатации строительных машин. — М.: Высшая школа, 1984. — 247с.
5. Баловнев В.И. «Дорожно-строительные машины». — М.: Машиностроение 1988.- 374с.

References

1. Birger I.A., Sharr B.F., Iashevich G.B. Calculation of the strength of machine parts: Guide. — M: Mechanical engineering 1979. — 702p.
2. Zhiveykov N.N., Karasev G.N., Izvey I.Y. Construction mechanics and metal structures of construction and road vehicles. — M: Mechanical engineering 1988. – 280p.
3. Ulyanov N.A. Theory of self-propelled wheeled earthmoving and transport machines. — M: Mechanical engineering 1969.- 520p.
4. Fillipov B.I. Labor protection during the operation of construction machines. — M.: High School, 1984. — 247p.
5. Balovnev V.I. «Road construction machines». — M.: Mechanical engineering 1988.- 374p.

*Воронежский государственный
технический университет*

*Д-р. техн. наук, проф., зав. кафедрой
строительной техники и инженерной
механики имени профессора Н.А. Ульянова
В.А. Жулай;*

*Канд. техн. наук, доцент кафедры строи-
тельной техники и инженерной механики
имени профессора Н.А. Ульянова
В.Л. Тюнин;*

*Ст. преп. кафедры строительной техники
и инженерной механики имени профессора
Н.А. Ульянова*

Е.В. Кожакин;

*Ст. преп. кафедры строительной техники
и инженерной механики имени профессора
Н.А. Ульянова*

А.А. Осипов;

*Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2-70-66-
90, e-mail: kozhakin-e@mail.ru*

*Voronezh State
Technical University*

*Dr. Sci. Tech., prof., head of the chair of con-
struction machinery and engineering mechan-
ics of a name of professor N.A. Ulyanov
V.A. Zhulai;*

*Cand. Of Tech Science, Associate prof. of the
chair of construction machinery and engineer-
ing mechanics of a name of professor N.A.
Ulyanov V.L. V.L. Tyunin;*

*Chief lecturer of the chair of construction ma-
chinery and engineering mechanics of a name
of professor N.A. Ulyanov*

E.V. Kozhakin;

*Chief lecturer of the chair of construction ma-
chinery and engineering mechanics of a name
of professor N.A. Ulyanov*

A.A. Osipov

*Russia, Voronezh, tel. +7(473) 2-70-66-90,
e-mail: kozhakin-e@mail.ru*

В.А. Жулай, В.Л. Тюнин, Е.В. Кожакин, А.А. Осипов

АНАЛИЗ МЕТОДИК ДИАГНОСТИКИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Рассмотрены существующие методики диагностики зубчатых передач. Проведен их анализ и представлена общая методология виброакустической диагностики. Сделан вывод о необходимости наличия диагностической модели реального объекта.

Ключевые слова: механические передачи, виброакустическая диагностика.

V.A. Zhulai, V.L. Tyunin, E.V. Kozhakin, A.A. Osipov

ANALYSIS OF GEAR DIAGNOSTICS TECHNIQUES

The existing methods of gear transmission diagnostics are considered. Their analysis is carried out and the general methodology of vibroacoustic diagnostics is presented. The conclusion is made about the need for a diagnostic model of a real object.

Keywords: mechanical transmissions, vibroacoustic diagnostics.

Техническая диагностика – область знаний, занимающаяся изучением теории, методов и способов определения и прогнозирования технического состояния машин и механизмов без их разборки по внешним проявлениям изменений внутренней структуры [1, 2].

Техническую диагностику разделяют на следующие виды [1, 2]:

– функциональную - определяющую качество функционирования машины и ее составных частей;

- структурную – выявляющую изменения в структуре механизмов и систем машины, приводящие к нарушению их правильного взаимодействия;
- казуальную – выясняющую причины возникновения дефектов, приводящих к отказам;
- прогнозную – представляющую состояние объекта на основе знаний о характере протекания процессов изменения рабочих параметров механизма.

В основе технической диагностики лежит знание связи выходных показателей машины с параметрами ее внутренней структуры. А основная проблема технической диагностики – изучение связи внутренней структуры объекта с ее внешними проявлениями. Имеется два вида систем диагностирования – тестовое и функциональное. При тестовом диагностировании на объект организуется воздействие специальным тестовым сигналом. Функциональное диагностирование основано на использовании в качестве входных воздействий возмущений возникающих при выполнении машиной технологических операций.

Определение состояния объекта по его виброакустическим параметрам, так называемая виброакустическая диагностика, является одним из наиболее перспективных современных методов технической диагностики [3, 4]. Основная задача виброакустической диагностики – установление однозначной связи параметров выходных сигналов с параметрами внутренней структуры механизмов. Эти параметры называют информативными диагностическими признаками. Поиск информативных признаков это одним из наиболее трудных этапов в процессе виброакустической диагностики [3, 4].

Колебания опоры или другого внешнего элемента механизма представляют собой смесь сигналов от нескольких, часто некоррелированных, источников. Для проведения диагностики необходимо разделить общий сигнал на отдельные составляющие, принадлежащие конкретной кинематической паре. Общая методология виброакустической диагностики включает в себя следующие основные этапы [5, 6]:

- измерение и преобразование вибрации определенных элементов конструкции с помощью специальных датчиков;
- запись полученных дискретных значений в память ЭВМ;
- обработка первичных данных на ЭВМ с целью получения статистических и спектральных характеристик исследуемого виброакустического процесса;
- оценка состояния механизма на основе анализа этих характеристик.

Физическим носителем информации о состоянии подвижных элементов механизмов в виброакустической диагностике служат упругие волны, которые возбуждаются в механизме в результате соударения деталей или неуравновешенного их движения. Возбужденные в металлоконструкции колебания являются исходным сигналом для виброакустической диагностики [5, 6]. Измерять и регистрировать можно как непосредственно колебания самого элемента машины, так и возникающие при этом колебания воздуха. Измерение воздушного шума производят бесконтактным способом с помощью микрофона. Но при этом результат измерений будет существенно зависеть от внешних условий, что сильно ограничивает область применения данного способа. Измерение упругих колебаний датчиками, закрепленными на элементах машины, лишено этого недостатка [1, 2].

В качестве первичных преобразователей виброакустических колебаний чаще всего используют датчики ускорений – пьезоакселерометры, способные воспринимать даже слабые сигналы. Эти датчики имеют малую массу, высокую стабильность в широком диапазоне частот и температур [3, 4].

Разработке функциональной системы виброакустической диагностики должно предшествовать исследование ударных процессов в кинематических парах. Для диагноза необходимы обстоятельные знания о связи параметров сигнала с параметрами механизма. Получение таких знаний, возможно, несколькими путями.

Первый путь предусматривает получение экспериментальных зависимостей связи параметров динамического сигнала с параметрами механизма при испытаниях механизмов с заранее известными или искусственно созданными дефектами, а также проведение мониторинга эксплуатируемого оборудования.

Второй путь основан на использовании упрощенных математических моделей реальных колебательных систем и практического опыта, полученного в результате достаточно объемных и подробных экспериментальных исследований.

Третий путь, один из наиболее современных и распространенных, предполагает наличие диагностической модели, достаточно подробно и достоверно описывающей связи между структурными и диагностическими параметрами. Реальный механизм представляется в виде колебательной системы с дискретными или распределительными параметрами, динамическое поведение которой описывается дифференциальными уравнениями.

В любом случае представление реального объекта какой-либо диагностической моделью позволяет обеспечить решение диагностической задачи за счет ее формализации. Наличие диагностической модели позволяет более обоснованно к способам выделения информативных параметров из первичных сигналов. Сложное ударное взаимодействие деталей механизмов между собой и внешней средой порождает быстропеременные колебательные процессы, не поддающиеся точному математическому описанию.

Вывод

Для эффективного проведения виброакустической диагностики машин и механизмов необходимо наличие диагностической модели, желательно наиболее точно и полно описывающей реальный объект, с учетом особенностей формирования динамических нагрузок в источниках и преобразования их динамической системой объекта.

Библиографический список

1. Макаров Р.А. Диагностика строительных машин / Р.А. Макаров, А.В. Соколов. – М.: Стройиздат, 1984. – 335 с.
2. Техническая диагностика. Термины и определения: ГОСТ 20911 – 89: Введ 01.01.91. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 13 с.
3. Артоболевский И.И. Введение в акустическую динамику машин/ И.Л. Артоболевский, Ю.И. Бобровницкий, М.Д. Генкин. – М.: Наука, 1979. – 296 с.
4. Павлов Б.В. Акустическая диагностика механизмов/ Б.В. Павлов – М.: Машиностроение, 1971. – 224 с.
5. Коллакот Р.А. Диагностирование механического оборудования: Пер. с англ. / Р.А. Коллакот. – Л.: Судостроение, 1980. – 295 с.
6. Ширман А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А.Р. Ширман, А.Б. Соловьев. – Москва, 1996. – 276 с.

References

1. Makarov R.A. Diagnostics of construction machines / R.A. Makarov, A.V. Sokolov. – M.: Stroyizdat, 1984. – 335 p.
2. Technical diagnostics. Terms and definitions: GOST 20911 – 89: Introduced 01.01.91. – Moscow: Publishing House of Standards, 1990. – 13 p.
3. Artobolevsky I.I. Introduction to acoustic dynamics of machines/ I.L. Artobolevsky, Yu.I. Bobrovnitsky, M.D. Genkin. – M.: Nauka, 1979. – 296 p.
4. Pavlov B.V. Acoustic diagnostics of mechanisms/ B.V. Pavlov – M.: Mashino-stroenie, 1971. – 224 p.
5. Kollakot R.A. Diagnostics of mechanical equipment: Translated from English / R.A. Kollakot. – L.: Shipbuilding, 1980. – 295 p.
6. Shirman A.R. Practical vibration diagnostics and monitoring of the state of mechanical equipment / A.R. Shirman, A.B. Soloviev. – Moscow, 1996. – 276 p.

*Воронежский государственный
технический университет
д-р. техн. наук, проф. кафедры строитель-
ной техники и инженерной механики В.А.
Нилов,
доцент, канд. техн. наук
Е.В. Федоров,
студенты группы НТС-201 М.Р. Кулешов,
В.А. Нырков
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 277-01-29
e-mail: vladnil1024@mail.ru*

*Voronezh State
Technical University
Dr. Sci. Tech., prof., building engineering and
engineering mechanics Dept
V.A. Nilov,
associate professor, cand. tech. sciences
E.V. Fedorov,
students of the NTS-201 group M.R. Kuleshov,
V.A. Nyrkov
Russia, Voronezh, tel. +7 (473) 277-01-29
e-mail: vladnil1024@mail.ru*

В.А. Нилов, Е.В. Федоров, М.Р. Кулешов, В.А. Нырков

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ РУКОЯТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА

В статье рассмотрен вопрос об исследовании напряженно-деформированного состояния рабочего оборудования гидравлического экскаватора с расширенной областью высоких усилий на режущей кромке ковша. Приведены результаты теоретических исследований, показавших возможность применения новых конструктивных решений на серийном рабочем оборудовании.

Ключевые слова: гидравлический экскаватор, рукоять, нагрузки, конструкция.

V.A. Nilov, E.V. Fedorov, M.R. Kuleshov, V.A. Nyrkov

RESEARCH OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE METAL STRUCTURE OF THE HANDLE OF A HYDRAULIC EXCAVATOR

The article deals with the issue of studying the stress-strain state of the working equipment of a hydraulic excavator with an extended area of high forces on the cutting edge of the bucket. The results of theoretical studies are presented, which have shown the possibility of using new design solutions on serial working equipment.

Keywords: hydraulic excavator, handle, loads, construction.

Гидравлические экскаваторы строительного класса (рис. 1) нашли широкое применение в строительстве благодаря, в том числе, возможности поворота ковша относительно рукояти механизмом поворота (рис. 2), включающем саму рукоять 1, гидроцилиндр 2, коромысло 3, тягу 4 и ковш 5. Такая конструкция позволяет увеличить угол поворота ковша и реализовать значительные усилия резания, однако, сами эти усилия по углу поворота ковша изменяются неравномерно. В заключительной фазе копания они уменьшаются, что приводит к увеличению времени заполнения ковша и уменьшению производительности экскаватора.



Рис. 1. Гидравлический экскаватор

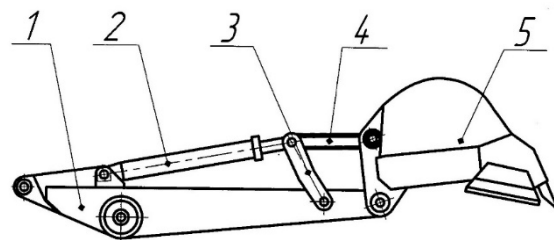
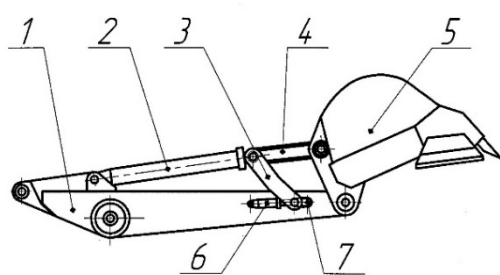


Рис. 2. Привод ковша

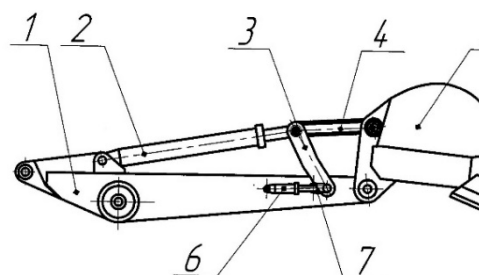
На кафедре Строительной техники и инженерной механики имени профессора Н.А. Ульянова Воронежского государственного технического университета проводятся патентно-конструкторские и научно-исследовательские работы по улучшению силового взаимодействия ковша гидравлического экскаватора с забоем за счет совершенствования конструкции привода механизма поворота ковша.

На рис. 3 приведена конструкция привода со *смещением опоры коромысла* во второй фазе заполнения ковша, когда у серийной конструкции начинается снижение усилий на зубьях. Новая конструкция [1, 2] кроме известных элементов: рукоять 1, гидроцилиндр привода 2, коромысло 3, тяга 4, ковш 5 дополнительно включает гидроцилиндр 6 и направляющие 7, в которых перемещается опора коромысла 3.

Разработку грунта начинают при серийном положении коромысла (рис. 3а), когда шток гидроцилиндра 6 полностью втянут. При этом усилия на режущей кромке ковша увеличиваются (зависимость 1 на рис. 4). Как только усилия начинают уменьшаться, оператор экскаватора гидроцилиндром 6 перемещает опору коромысла 3 в пазу 7 вправо. В результате увеличивается плечо между гидроцилиндром привода 2 и коромыслом 4, что способствует увеличению усилия на зубьях ковша 5 и расширяет зону высоких значений усилий на режущей кромке ковша (зависимость 2, рис. 4а). Процесс перемещения опоры коромысла можно автоматизировать, тогда зона высоких усилий на режущей кромке ковша существенно увеличится (рис. 4б).



а



б

Рис. 3. Привод ковша со смещением опоры коромысла:
а – начало копания; б – продолжение копания

Новая конструкция рукояти (рис. 3) предусматривает наличие паза 7 для перемещения опоры коромысла 3 и одновременно увеличение зоны высоких усилий, реализуемых механизмом поворота ковша. В этих условиях необходимо исследовать напряженно-деформированное состояние металлоконструкции рукояти и выявить необходимость её усиления.

С этой целью выполнен расчет напряженно-деформированного состояния рукояти экскаватора ЭО-5122 с учетом новой конструкции механизма поворота ковша методом конеч-

ных элементов по программе APM FEM, интегрированной в Компас 18.1. На рис. 5 приведено расчетное положение рукояти и схема её нагружения. Исходные данные для расчета даны в таблице 1.

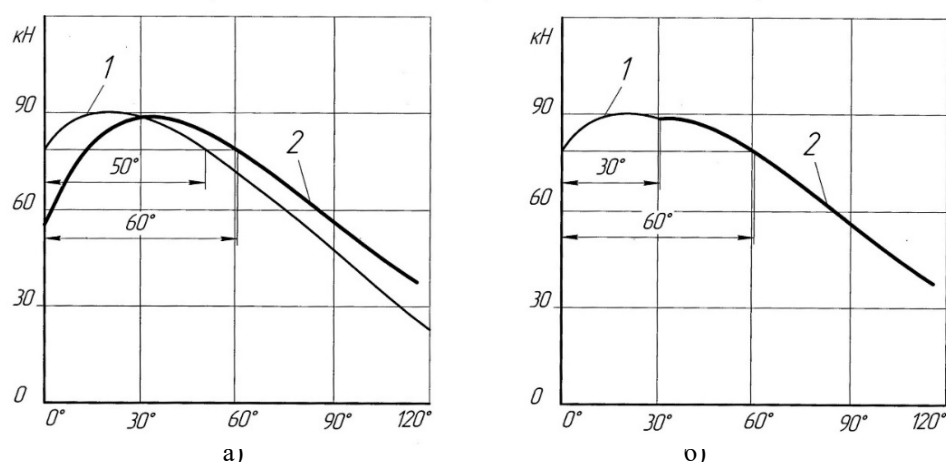


Рис. 4. Изменение зон и максимальных усилий на зубьях ковша:

а) 1 – Традиционный привод ковша;
2 – привод со смещением опоры коромысла

б) Рекомендуемый момент
перемещения опоры коромысла

Таблица 1

Исходные данные для расчета металлоконструкций рукояти

п/п	Параметр	Ед. изм.	Величина
1	Вес ковша	кг	1840
2	Вес рукояти	кг	1130
3	Вес гидроцилиндра	кг	290
4	Вес коромысла	кг	154
5	Тяга	кг	84
6	Расчетное давление в гидросистеме	МПа	32
7	Диаметр гидроцилиндров ковша и рукояти	мм	160
8	Количество гидроцилиндров ковша	-	1
9	Количество гидроцилиндров рукояти	-	2
10	Усилие в бесштоковой полости гидроцилиндра ковша	кН	643
11	Усилие в шарнире ковша и рукояти	кН	807,48
12	Усилие в шарнире коромысла и рукояти	кН	306,8
13	Усилие в шарнире рукояти и гидроцилиндра ковша	кН	644,5
14	Материал	-	Сталь 09Г2С

На рис. 5 показано расчетное положение для рукояти [3], а на рис. 6 – представлена схема сил, действующих на рукоять в расчетном положении. Рукоять занимает вертикальное положение, ковш полностью заполнен грунтом, стрела наклонена к горизонту под углом 30°.

Таблица 2

Влияние веса составных частей привода ковша на реакции в шарнирах

п/п	Шарнир соединения	Полное усилие в шарнире, кН	Доля веса элемента, кН/%
1	Гидроцилиндра и рукояти	644,5	1,5/0,23
2	Коромысла и рукояти	306,8	2,65/0,86
3	Ковша и рукояти	807,48	44,42/5,5

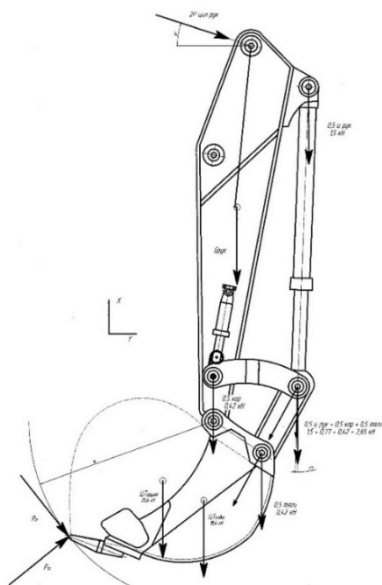


Рис. 5. Расчетное положение рукояти

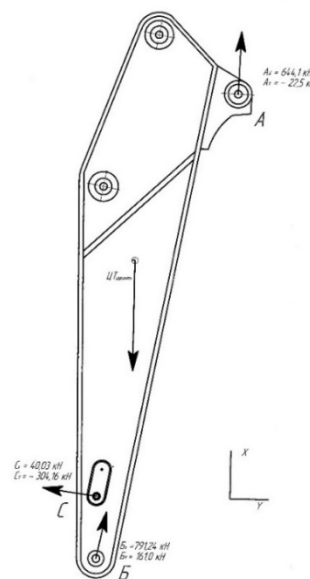


Рис. 6. Схема сил, действующих на рукоять

Предварительные расчеты для серийной рукояти показали, что при расчетных нагрузках её конструкция в зоне крепления ковша и коромысла требует усиления, тем более, что там необходимо выполнить паз для перемещения опоры коромысла. Усиление выполнено накладными листами толщиной 10 мм по всему контуру между шарнирами ковша и опоры коромысла (рис. 7, выделено цветом).

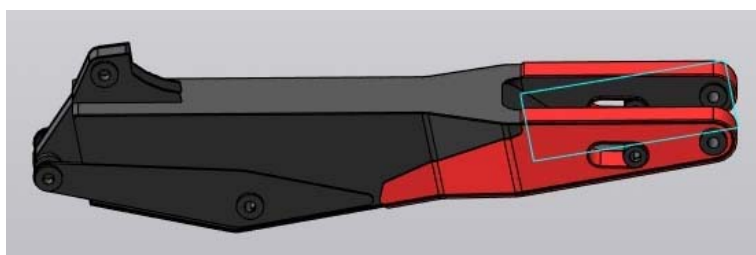


Рис. 7. Усиление рукояти листами

Расчеты выполнены методом конечных элементов в программе АПМ FEM, интегрированной в Компас, версия 18.1. Результаты расчета приведены на рис. 8 и 9. Выполненные расчеты показывают, что зона усиления мест крепления ковша и перемещения опоры коромысла достаточна. В этой зоне суммарные напряжения не превышают 20...30 МПа при перемещениях 2,5...4,0 мм. Коэффициент запаса прочности по пределу текучести равен 8,9...9,4.

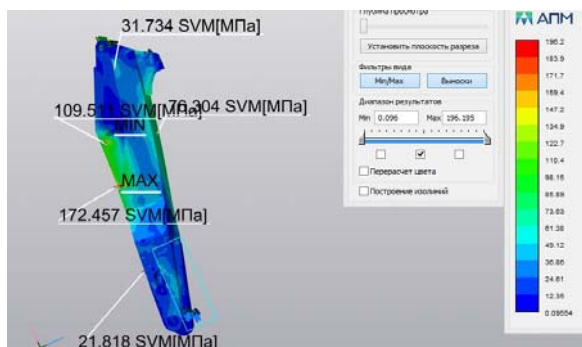


Рис. 8. Суммарные напряжения

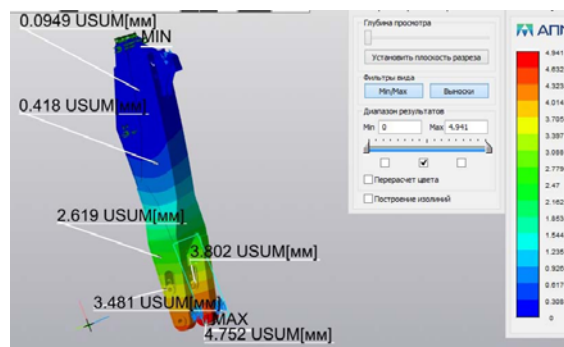


Рис. 9. Суммарные перемещения

Расчеты также свидетельствуют о необходимости усиления рукояти в зоне, прилегающей к шарниру соединения с стрелой. Здесь суммарные напряжения достигают величин 110...190 МПа при коэффициенте запаса по пределу текучести 1,4...2,5. Поэтому необходимо усиление этого участка рукояти.

Заключение

1. Проведенные исследования показали, что доля собственного веса элементов механизма поворота ковша, грунта в ковше и самого ковша не превышают 5,5...0,2 % от величины реакции в шарнирах. Поэтому, в расчетах собственным весом элементов конструкции и весом грунта можно пренебречь.
2. Установлена область максимальных суммарных напряжений (110...190 МПа) в расчетном положении рукояти, которая, возможно, может изменить свое положение при иных углах поворота ковша относительно рукояти. Поэтому, необходимо продолжить исследования напряженно-деформированного состояния рукояти.
3. Выполненное усиление рукояти в зоне паза для опоры коромысла следует считать успешным. Суммарные напряжения составляют 20...30 МПа.

Библиографический список

1. Нилов В.А., Жулай В.А., Тюнин В.Л., Федоров Е.В. Совершенствование конструкции привода ковша гидравлического экскаватора // Строительные и дорожные машины. – 2022. - № 4 – С. 3-6.
2. Нилов В.А., Жулай В.А., Тюнин В.Л., Федоров Е.В. Улучшение силового воздействия рабочего оборудования гидравлического экскаватора на забой // Строительные и дорожные машины. – 2022. - № 5 – С. 19-22.
3. Машины для земляных работ: учебник для студентов вузов по специальности «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» Д.П. Волков, В.Я. Крикун, П.Е. Тотолин и др.; под общ. ред. Д.П. Волкова. – Машиностроение, 1992 – 448 с.

References

1. Nilov V.A., Zhulai V.A., Tyunin V.L., Fedorov E.V. Improving the design of the bucket drive of a hydraulic excavator // Construction and road machines. – 2022. - No. 4 – pp. 3-6.
2. Nilov V.A., Zhulai V.A., Tyunin V.L., Fedorov E.V. Improvement of the power effect of the hydraulic excavator working equipment on the face // Construction and finishing machines. – 2022. - No. 5 – pp. 19-22.
3. Machines for earthworks: textbook for university students in the specialty "Lifting, transport, construction, road machinery and equipment" D.P. Volkov, V.Ya. Krikun, P.E. Totolin, etc.; under the general ed. D.P. Volkov. – Mechanical engineering, 1992 – 448 p.

УДК 621.873.35

Тульский государственный университет
Канд. техн. наук, доц. кафедры «Подъемно-транспортные машины и оборудование»
А.В. Редькин
Студент Д.С. Поляков
Россия, г. , тел. +7(487) 2-25-46-88
e-mail: ra171171@yandex.ru

Tula State University
D.Sc.(Engineerin), Associate Prof. of the Lifting and transport machines and equipment
Dept. A.V. Red'kin
Student D.S. Polyakov
Russia, Tula, tel. +7 (487) 2-25-46-88
e-mail: ra171171@yandex.ru

А.В. Редькин, Д.С. Поляков

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТЬЮ СТРЕЛОВЫХ САМОХОДНЫХ КРАНОВ

Рассмотрены вопросы повышения уровня эксплуатационной производительности и безопасности производства погрузо-разгрузочных работ, выполняемых стреловыми самоходными кранами путем мониторинга устойчивости и стабилизации опорного контура.

Ключевые слова: грузоподъемная машина, безопасность, устойчивость, управление, мониторинг.

A.V. Red'kin, D.S. Polyakov

AUTOMATED CONTROL COMPLEX OF MOBILE CRANES STABILITY

The problems of improving operational performance and safety of loading and unloading operations performed mobile crane by monitoring stability and stabilization of the support contour.

Keywords: lifting machines, safety, stability, control, monitoring.

Безопасность работы стрелового самоходного крана (ССК) основана на его собственной и грузовой устойчивости, препятствующей его опрокидыванию при различных условиях нагружения. Безопасность и производительность подъемно-транспортных операций, выполняемых ССК, в свою очередь зависит от наличия информации о текущем состоянии основных агрегатов и положения исполнительных органов машины в процессе выполнения этих работ. В основу принятой в настоящее время базовой модели устойчивости свободно стоящего крана положен принцип, состоящий в том, что для опрокидывания крана, ему следует сообщить кинетическую энергию, достаточную для того, чтобы преодолеть приращение потенциальной энергии, полученной при повороте на угол, достаточный для перемещения центра масс за ребро опрокидывания.

Для гарантированного обеспечения грузовой устойчивости мобильного крана необходимо оснастить его бортовым автоматическим устройством стабилизации. Однако, вследствие особенностей гидравлического оборудования современных ССК, процесс компенсации углового положения рамы может быть выполнен только заблаговременно и с обязательным прерыванием погрузочно-разгрузочных работ. Значительным недостатком существующего приборного комплекса системы безопасности является также отсутствие в его составе уст-

ройств, позволяющих реализовать направленное стабилизирующее воздействие в автоматическом режиме.

Известен ряд отечественных и зарубежных разработок решений, которые в той или иной степени решают существующую проблему. В частности, английская компания JCB производит автопогрузчики [1], оснащенные указателем горизонтального положения и системой поперечного выравнивания шасси, что позволяет поднимать груз без установки выносных опор и значительно уменьшить время рабочего цикла. Поперечная стабилизация шасси осуществляется силовым гидроцилиндром, вращающим раму, шарнирно соединенную с балкой ведущего моста (рис. 1).

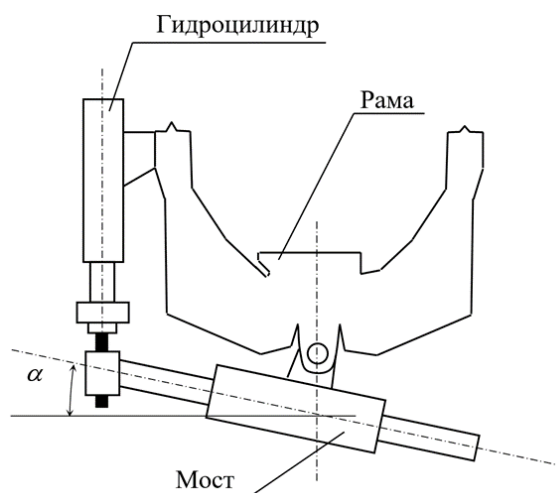


Рис. 1. Система выравнивания поперечного положения шасси машины

Продольная устойчивость автопогрузчика контролируется тензометрическим датчиком, установленным на балке заднего моста машины. Система осуществляет автоматическую коррекцию только поперечного наклона машины; в отношении продольной устойчивости используется индикаторный режим.

В крановых установках система управления должна обеспечивать автоматическую коррекцию углового положения платформы при полноповоротном режиме работы стрелового оборудования. В этой связи представляет интерес система управления опорами крана, выполненная в виде магистральных линий трубопроводов, одна из которых обеспечивает параллельное питание гидроцилиндров и имеет датчик давления в напорной магистрали, а вторая питает гидроцилиндры посредством синхронизаторов движения, подключенных разветвляющимся трубопроводом к управляемому распределителю.

В системе управления выносными опорами горизонтальность платформы контролируется следующим образом. Платформа крана опирается на четыре гидроцилиндра выносных опор. Выравнивание осуществляется подъемом опущенных углов платформы относительно приподнятого угла. При просадке одной опоры крана на диагонально противоположной опоре усилие уменьшается, срабатывает один из датчиков давления и включает подачу жидкости в диагонально противоположную датчику гидроопору. Недостатками системы являются большое количество измерительных приборов, что требует значительной модернизации системы управления, и отсутствие в ней устройства, определяющего наклон опорного контура в автоматическом режиме. Кроме того, «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» [2] предполагают вывешивание машины на выносных опорах на полную длину рабочего хода штоков, что не позволяет компенсировать просадку опоры за счет подачи жидкости в диагонально противоположную датчику опору в процессе выполнения рабочих операций.

Предлагаемый автоматизированный комплекс обеспечения устойчивости содержит насос, создающий рабочее давление жидкости, поступающей через трубопроводы и управляемые распределители к гидроцилиндрам, тензометрические датчики, датчик азимута и бортовой микропроцессор. В комплексе используются параллельные линии питания гидроцилиндров трубопроводов, подключенных к управляемому процессором распределителю через систему контроллеров.

В четырехопорном контуре ребро опрокидывания может не совпадать с линией опорного контура; чаще всего имеет место трехопорная схема, когда одно из опорных устройств отрывается от опорной поверхности. В процессе технологического цикла система выполняет периодический опрос датчиков опорных давлений, определяя таким образом текущую конфигурацию ядра опирания установки и текущее положение проекции центра масс на плоскость опирания. Проводя виртуальное нагружение крановой установки значением массы перемещаемого груза в направлении всех возможных ребер опрокидывания, система выявляет внутри ядра опирания область гарантированной устойчивости (сектор «разрешенных» ячеек матрицы) (рис. 2).

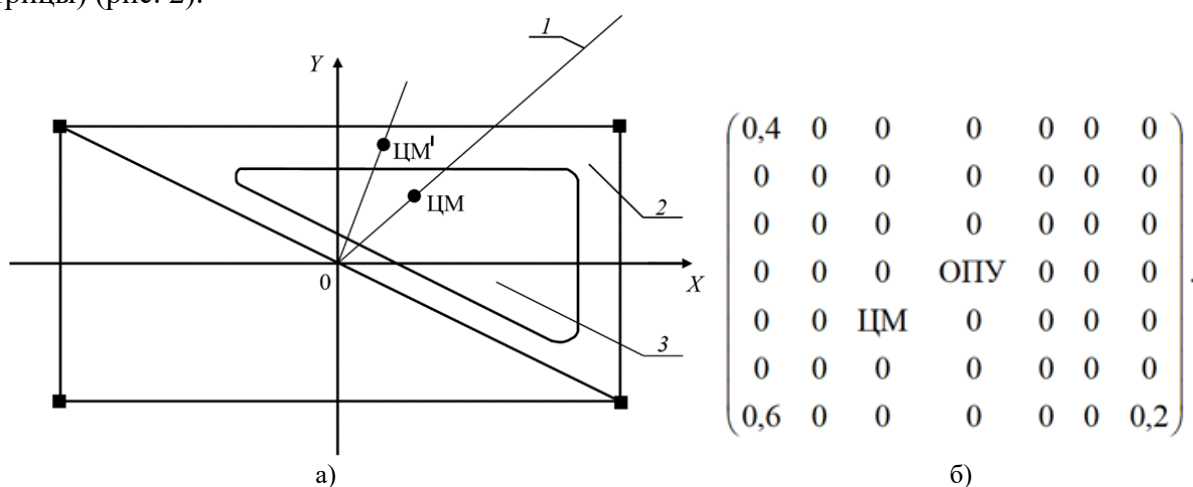


Рис. 2. Текущая конфигурация ядра опирания установки (а) и двумерная матрица опорного контура (б):
1 – плоскость стрелы; 2 – область опасного снижения запаса устойчивости;
3 – область гарантированной устойчивости

Геометрия устройства опорного контура представлена в виде двумерной матрицы, в ячейках которой указывается (соответствующим числовым значением) местоположение опорных гидроцилиндров, центр опорно-поворотного устройства (ОПУ) и текущее положение центра масс (ЦМ).

Предполагая опоры крана как материальные точки, в которых сосредоточены части массы установки, текущее положение проекции центра масс крана (в равновесном состоянии матрицы) определяется следующим образом:

$$Mx_{\text{цг}} = \sum_{i=1}^n m_i x_i, \quad My_{\text{цг}} = \sum_{i=1}^n m_i y_i,$$

где $M = \sum_{i=1}^n m_i$ – полная масса крановой установки; x, y – координаты строк и столбцов ячеек матрицы соответственно.

В процессе вращения поворотной части крана, перед прохождением стреловым оборудованием диагональной оси опорного контура, система мониторинга проверяет наличие контакта штока аутригера и подпятника опорной плиты. При отсутствии контакта или внезапной просадке опоры в грунт, исполнительная система осуществляет откачивание часть рабочей жидкости остальных аутригеров, выполняя тем самым равномерную осадку опорного контура крана до восстановления устойчивого его состояния.

В случае превышения максимально допустимого значения управляемой осадки и отсутствия признаков контакта штока с опорной поверхностью ситуация считается аварийной, и система блокирует все исполнительные системы (при этом установка остается в устойчивом состоянии). Автоматическая осадка опорного контура выполняется также и в случае, если по неизвестной причине проекция центра масс смещается в область опасного снижения запаса устойчивости.

Выводы

1. Реализация исполнительной части системы (установка опорного контура) предполагает минимальную модернизацию гидрооборудования опорного контура. Параллельно существующему гидрораспределителю устанавливается электромагнитный распределитель, управляемый релейным модулем бортового процессора.

2. Отличительными чертами системы являются возможность прогнозирования аварийных ситуаций и заблаговременное блокирование исполнительных систем при их возникновении. Для уменьшения динамических нагрузок при перемещении груза необходимо обеспечить возможность регулирования в широких пределах скорости вращения гидродвигателя с обеспечением обратной связи [3,4].

3. Учитывая реальные условия работы крановой установки, программное обеспечение системы должно строиться по принципу экспертной системы, обладающей способностью запоминать, анализировать, обучаться. Только в этом случае система, работая в автоматическом режиме, будет адекватно реагировать на всевозможные сочетания внешних возмущающих факторов и предупреждать аварийные ситуации.

Библиографический список

1. Телескопические погрузчики JCB – URL: <https://www.jcb.com/ru-ru/produkty/teleskopicheskie-pogruzchiki> (дата обращения: 18.10.2022). – Текст: электронный.
2. Нормативные правовые и правовые акты, регламентирующие деятельность Ростехнадзора – URL: <http://mos.gosnadzor.ru/about/documents/> (дата обращения: 28.10.2022). – Текст: электронный.
3. A.V. Red'kin, P.A. Sorokin, N.N. Trushin, N.G. Grinchar. Comprehensive mobile crane control and safety system // *Advances in Engineering Research (AER)*, – 2018. – volume 157. pp. 524-528.
4. Редькин А.В., Сорокин П.А., Митяев А.С. Интеграция систем безопасности и управления исполнительными приводами мобильных стреловых кранов // *Строительные и дорожные машины*. – 2018. – №8. – С. 16-19.

References

1. Telehandlers JCB – URL: <https://www.jcb.com/ru-ru/produkty/teleskopicheskie-pogruzchiki> (date of the application: 18.10.2022). – Text: electronic.
2. Normative legal and legal acts regulating Rostekhnadzor activities – URL: <http://mos.gosnadzor.ru/about/documents/> (date of the application: 28.10.2022). – Text: electronic.
3. A.V. Red'kin, P.A. Sorokin, N.N. Trushin, N.G. Grinchar. Comprehensive mobile crane control and safety system // *Advances in Engineering Research (AER)*, – 2018. – volume 157. pp. 524-528.
4. Red'kin A.V., Sorokin P.A., Mityajev A.S. A comprehensive control system of stability and safety of jib cranes with hydraulic drive // *Construction and road building machinery*. – 2018. – №8. – pp. 16-19.

*Российский университет транспорта
Канд. техн. наук, доц. кафедры «Наземные
транспортно-технологические средства»
М.Ю. Чалова*

*Россия, г. Москва, тел. +7(916) 543-07-67
e-mail: margarita_chalova@mail.ru*

*Российский университет транспорта
Аспирант кафедры «Наземные транспорт-
но-технологические средства»*

*М.Р. Головачева
Россия, г. Москва, тел. +7(965) 423-27-79
e-mail: marina-nikulina-2016@mail.ru*

*Russian University of Transport
D. Sc. (Engineerin) Prof. of the Department
"Ground Transport and Technological
Means" M.Y. Chalova*

*Russia, Moscow, tel. +7(916) 543-07-67
e-mail: margarita_chalova@mail.ru*

*Russian University of Transport
Postgraduate student of the Department of
"Ground Transportation and Technological
means" M.R. Golovacheva*

*Russia, Moscow, tel. +7(965) 423-27-79
e-mail: marina-nikulina-2016@mail.ru*

М.Ю. Чалова, М.Р. Головачева

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПОЛУВАГОНА СНЕГОУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ СМ-2

Для безопасного движения поездов необходимо, чтобы своевременно выполнялись работы по текущему содержанию пути, в том числе и в зимнее время. Поэтому необходимо осуществлять контроль над готовностью и исправностью парка снегоуборочных машин. Самая распространенная среди них СМ-2. В большинстве случаев отказы приходятся на транспортер полувагона СМ-2.

Ключевые слова: снегоуборочная машина, отказ, надежность, полувагон, транспортер.

M.Y. Chalova, M.R. Golovacheva

ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF THE SM-2 SNOWPLOW GONDOLA

For the safe movement of trains, it is necessary that work on the current maintenance of the track be carried out in a timely manner, including in winter. Therefore, it is necessary to monitor the readiness and serviceability of the snowplow fleet. The most common among them is CM-2. In most cases, failures occur on the conveyor of the SM-2 gondola car.

Keywords: snowplow, failure, reliability, gondola, conveyor.

В условиях развития объемов грузового и пассажирского потоков железнодорожного транспорта подразделениям ОАО «РЖД» необходимо бесперебойно обеспечивать условия для движения поездов, а именно своевременно выполнять работы по текущему содержанию пути. В зимнее время года для выполнения данных работ необходимо осуществлять контроль над исправностью и готовностью парка снегоуборочных машин к работе.

В настоящее время парк снегоуборочной техники ОАО «РЖД» включает 747 единиц поездов типа СМ, ПСС. Готовность данного парка машин напрямую зависит от надежности конструкций полувагонов данных поездов.

Полувагоны поездов типа СМ, ПСС имеют сходство с грузовыми вагонами, но при этом конструктивно отличаются наличием транспортеров.

Под безопасностью любого грузового вагона определяется его свойство, заключающееся в предсказуемости его переходов в процессе эксплуатации в аварийные состояния, которые могут привести к непоправимым последствиям для человека и природной среды [1].

Под опасным отказом вагона следует понимать событие, состоящее в переходе его в аварийное состояние – состояние, которое может немедленно привести к транспортному происшествию с весьма тяжелыми последствиями – к аварии или крушению поезда. Переход конструкций, в том числе вагонных, в такое состояние происходит из-за недостаточной прочности или ее исчерпанию в процессе эксплуатации, низкого качества и несвоевременности ремонта и так далее. Часть подобных причин является объективной. Например, пока не существует технических средств контроля процесса накопления усталостных повреждений в материале конструкции, следовательно, не существует и фиксации предпредельного состояния. В результате наступает момент времени, случайный для обслуживающего персонала, когда вследствие цикличности нагружения запас прочности в материале будет исчерпан – материал переходит в хрупкое состояние, разрушение в этом смысле может наступить в любой момент времени при напряжениях ниже допускаемых. К тому же вагонные конструкции имеют один существенный недостаток – ограниченную контролепригодность некоторых ответственных несущих узлов в условиях эксплуатации относительно повреждений, имеющих внешние признаки.

Существует перечень узлов грузовых вагонов согласно ГОСТ 34632-2020 [2], для которых определяются показатели надежности. При этом данный нормативный документ не подходит для определения надежности полувагонов снегоуборочных машин, так как по результатам анализа отказов снегоуборочных машин типа СМ-2 (3-я категория) за период 2016-2020 гг. (рис.) выявлено, что наибольший процент отказов приходится на транспортер полувагона снегоуборочной машины (32 %).

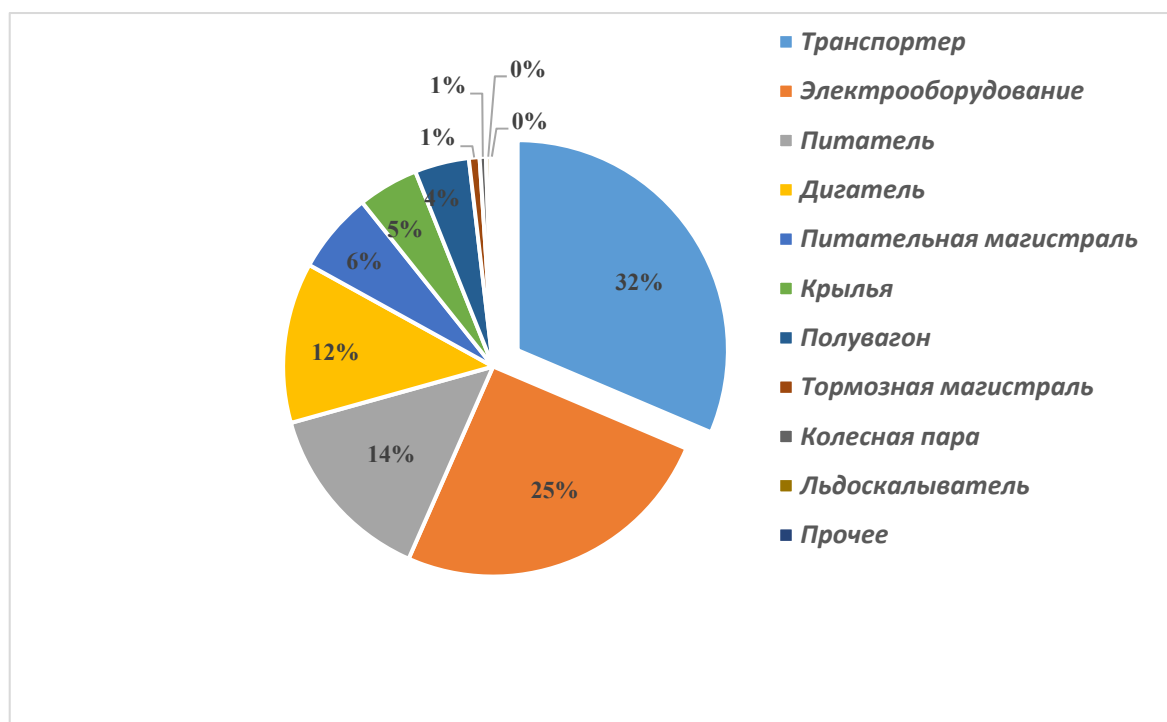


Рис. Анализ отказов СМ-2

Основные причины отказов транспортера – обрыв цепи и повреждение конструкции.

Выводы

1. Надежность транспортера зависит от действующих на него сил: сила тяжести снега, сила тяжести транспортера, сопротивление движению ленты, сила натяжения транспортера.
2. Предотказное состояние полувагона снегоуборочной машины для расчета показателей его надежности должно определяться при максимальной нагрузке транспортера – максимальном объеме снега, транспортируемого ленточным конвейером [3].
3. Нагрузка на тележки колесных пар, тормозные магистрали, автосцепные устройства и прочие узлы данных полувагонов находится в прямой зависимости от нагрузки на транспортер.
4. Для расчета надежности полувагонов снегоуборочных машин необходима разработка и утверждение методики их расчета.

Библиографический список

1. Пигунов В.В. Надежность подвижного состава железнодорожного транспорта. Гомель. БелГУТ, 2016, 202 с.
2. ГОСТ 34632-2020. Вагоны грузовые. Метод эксплуатационных испытаний на надежность. М., 2020, 43 с.
3. 0154.00.000 ТО. Техническое описание и руководство по эксплуатации СМ-2.

References

1. Pigunov V.V. Reliability of rolling stock of railway transport. Gomel. BelGUT, 2016, 202 p.
2. GOST 34632-2020. Freight cars. Method of operational tests for reliability. M., 2020, 43 p.
3. 0154.00.000 TO. Technical description and operating manual SM-2.

*Российский университет транспорта
Канд. техн. наук, доц. кафедры «Наземные
транспортно-технологические средства»
М.Ю. Чалова*

Россия, г. Москва, тел. +7(916) 543-07-67

e-mail: margarita_chalova@mail.ru

*Российский университет транспорта
Студент кафедры «Электропоезда и локо-
мотивы»*

А.В. Земсков

Россия, г. Москва, тел. +7(916) 892-73-68

e-mail: zemskov.17.zemskov@gmail.com

*Российский университет транспорта
Студент кафедры «Электропоезда и локо-
мотивы»*

С.Ю. Красных

Россия, г. Москва, тел. +7(916) 663-42-98

e-mail: mlrta@mail.ru

Russian University of Transport

*D. Sc. (Engineerin) Prof. of the Department
"Ground Transport and Technological
Means" M.Y. Chalova*

Russia, Moscow, tel. +7(916) 543-07-67

e-mail: margarita_chalova@mail.ru

*Russian University of Transport
Student of the department "Electric trains and
locomotives"*

A.V. Zemskov

Russia, Moscow, tel. +7(916) 892-73-68

e-mail: zemskov.17.zemskov@gmail.com

*Russian University of Transport
Student of the Department "Electric trains
and locomotives"*

S.Y. Krasnykh

Russia, Moscow, tel. +7(916) 663-42-98

e-mail: mlrta@mail.ru

М.Ю. Чалова, А.В. Земсков, С.Ю. Красных

ЩЕБНЕОЧИСТИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ ДЛЯ РАБОТЫ НА СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДАХ

Для безопасного движения поездов необходимо, чтобы своевременно выполнялись работы по капитальному и среднему ремонту, в том числе и на стрелочных переводах. В настоящее время очистка щебеночного балласта от засорителей на стрелочных переводах производится щебнеочистительными машинами австрийской фирмы Plasser & theurer.

Ключевые слова: стрелочный перевод, щебеночный балласт, щебнеочистительные машины, парк машин, засорители.

M.Y. Chalova, A.V. Zemskov, S.Y. Krasnykh

CRUSHED STONE CLEANING MACHINES FOR WORKING ON SWITCHBACKS

For the safe movement of trains, it is necessary that capital and medium repairs are carried out in a timely manner, including at the switches. Currently, the cleaning of crushed stone ballast from weeds on the switches is carried out by crushed stone cleaning machines of the Austrian company Plasser & theurer.

Keywords: switchboard, crushed stone ballast, crushed stone cleaning machines, fleet of cars, weeds.

Эффективность работы железнодорожного транспорта связана с повышением скоростей движения грузовых и пассажирских поездов, что ведет к увеличению динамического воздействия подвижного состава на железнодорожный путь, а, следовательно, к необходимости периодического восстановления физико-механических характеристик и геометрических параметров щебеночной балластной призмы [1].

Балластный слой является важным элементом верхнего строения. От его упругих свойств в значительной мере зависит устойчивость рельсового пути. Если балластный слой загрязнен и утратил свои упругие и дренажные свойства, то путь перестает быть устойчивым, в нем появляются просадки, перекосы, толчки, а износ его металлических частей увеличивается [2].

Поэтому очистка щебеночного балласта от засорителей железнодорожного пути и стрелочных переводов является актуальной задачей ОАО «РЖД».

На отечественных железных дорогах в настоящее время эксплуатируются балластоочистительные машины для пути и стрелочных переводов RM-76 RM-80, RM-95 компании Plasser & Theurer (рис. 1), предназначенные для вырезки и очистки щебеночного балласта на перегонах, стрелочных переводах, станционных путях, в том числе у платформ. Принцип работы данных машин основан на использовании для вырезки балласта подпутной балки, по которой перемещается режущий орган (баровая цепь). В машинах RM-76, RM-80, RM-95 применяют длинную подпутную балку, которая позволяет увеличить ширину вырезки до 8500 мм. Современных отечественных путевых щебнеочистительных машин для стрелочных переводов не существует.



а)



б)



в)

Рис. 1. Щебнеочистительные машины для стрелочных переводов:
а) RM-76; б) RM-80; в) RM-95

Во время капитального ремонта путевыми щебнеочистительными машинами RM-76, RM-80, RM-95 производят очистку щебеночного балласта по всей ширине стрелочного перевода с устройством (при необходимости) разделительного покрытия между очищенным щебнем и поверхностью среза основной площадки земляного полотна, с погрузкой засорителей на специальный состав; при среднем ремонте - обновление загрязненного балласта других видов на глубину не менее 15 см под подошвой шпал с укладкой нового путевого щебня [3].

В настоящее время парк щебнеочистительных машин для стрелочных переводов ОАО «РЖД» включает 48 единиц [4]. На Свердловской и Северной железной дороге еще работают 2 отечественные щебнеочистительные машины для стрелочных переводов ЩОМ-6У 1994 и 1997 годов изготовления. Большую часть парка путевых щебнеочистительных машин составляют RM-80 (рис. 2). Возраст парка преимущественно больше 20 лет за исключением RM-95. Период выпуска RM-95 2013-2015 гг.

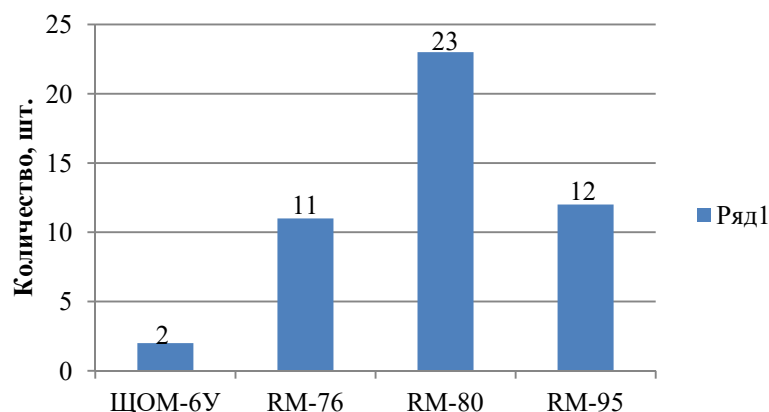


Рис. 2. Состояние парка щебнеочистительных машин для стрелочных переводов

Выводы

1. К 2030 году при сложившейся ситуации в России парк машин щебнеочистительных машин будет состоять из 12 единиц RM-95.
2. В настоящее время в нашей стране нет отечественных путевых щебнеочистительных машин для стрелочных переводов, поэтому проектирование, создание или модернизация щебнеочистительных машин двойного назначения по принципу RM является актуальной задачей.

Библиографический список

1. Инструкция по усилению железнодорожного пути органическими вяжущими для скоростного и тяжеловесного движения поездов (стрелочные переводы в горловинах станций)(часть 1) от 4 октября 2012 г. n 1976р [электронный ресурс]. URL: <http://scbist.com/scb/uploaded/docs/2012/oktyabr-2012/1471-ot-4-oktyabrya-2012-g-n-1976r1.htm> (Дата обращения 21.11.2022).
2. Lokomo.ru [электронный ресурс]. URL: <https://lokomo.ru/zheleznodorozhnyy-put/ustroystvo-i-soderzhanie-zhd-puti/Page-47.html> (Дата обращения 21.11.2022).
3. StudFiles [электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/6340079/page:9/> (Дата обращения 21.11.2022).
4. Railgallery.ru [электронный ресурс]. URL: <https://railgallery.ru/list.php?mid=386> (Дата обращения 21.11.2022).

References

1. Instructions for strengthening the railway track with organic binders for high-speed and heavy-weight train traffic (switches in the necks of stations)(part 1) dated October 4, 2012 n 1976r [electronic resource]. URL: <http://scbist.com/scb/uploaded/docs/2012/oktyabr-2012/1471-ot-4-oktyabrya-2012-g-n-1976r1.htm> (Accessed 21.11.2022).
2. Lokomo.ru [electronic resource]. URL: <https://lokomo.ru/zheleznodorozhnyy-put/ustroystvo-i-soderzhanie-zhd-puti/Page-47.html> (Accessed 21.11.2022).
3. StudFiles [electronic resource]. URL: <https://studfile.net/preview/6340079/page:9/> (Accessed 11/21/2022).
4. Railgallery.ru [electronic resource]. URL: <https://railgallery.ru/list.php?mid=386> (Accessed 21.11.2022).

*Российский университет транспорта
Канд. техн. наук, доц. кафедры «Наземные
транспортно-технологические средства»
М.Ю. Чалова*

*Россия, г. Москва, тел. +7(916) 543-07-67
e-mail: margarita_chalova@mail.ru*

*Российский университет транспорта
Студент кафедры «Наземные транспорт-
но-технологические средства»*

*Е.С. Сафонов
Россия, г. Москва, тел. +7(915) 893-43-50
e-mail: safonov-2222@mail.ru*

*Russian University of Transport
D. Sc. (Engineerin) Prof. of the Department
"Ground Transport and Technological Means"
M.Y. Chalova*

*Russia, Moscow, tel. +7(916) 543-07-67
e-mail: margarita_chalova@mail.ru*

*Russian University of Transport
Student of the department "Ground transport
and technological means"*

*E.S. Safonov
Russia, Moscow, tel. +7(915) 893-43-50
email: safonov-2222@mail.ru*

М.Ю. Чалова, Е.С. Сафонов

РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ЩЕБНЕОЧИСТИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ЩОМ-1400 НА СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДАХ

Балластный слой в процессе эксплуатации теряет свои первоначальные свойства, что сказывается на безопасности движения поездов. Восстановление физико-механических свойств балластного слоя происходит путем его очистки щебнеочистительными машинами и комплексами. В настоящее время очистка балласта на перегонах и станциях осуществляется отечественными высокопроизводительными машинами; на стрелочных переводах – австрийскими путевыми машинами фирмы Plasser & Theurer.

Ключевые слова: засорители, щебнеочистительная машина, ЩОМ-1400, стрелочный перевод, коэффициент заполнения межскребкового пространства, вырезающее устройство.

M.Yu.Chalova, E.S. Safonov

RATIONAL PARAMETERS OF THE OPERATION OF THE UPGRADED CRUSHED STONE CLEANING COMPLEX SHCHOM-1400 ON THE SWITCHES

The ballast layer loses its original properties during operation, which affects the safety of train traffic. Restoration of the physical and mechanical properties of the ballast layer occurs by cleaning it with crushed stone cleaning machines and complexes. At present, ballast cleaning at stages and stations is carried out by domestic high-performance machines; at switchbacks - by Austrian Plasser track machines & Theurer.

Keywords: weeds, crushed stone cleaning machine, SCHOM-1400, switch, filling factor of the inter-scraping space, a cesspool.

Основной задачей технического обслуживания железнодорожного пути является рациональное определение видов и сроков выполнения путевых работ по устранению и предупреждению появления отступлений от норм содержания рельсовой колеи. Появление отступлений III и IV степени от норм содержания пути, которые требуют либо ограничения скоростей движения поездов, либо вовсе закрытия пути и проведения неотложных работ, связано, в том чис-

ле с состоянием балластного слоя, которое зависит от его несущей способности и степени деформативности. И несущая способность, и деформативность определяются физико-механическими свойствами применяемого в конструкции пути щебеночного балласта, и если изначальные свойства щебня при укладке в путь, как правило, удовлетворяют требованиям стандарта, то эти же свойства после определенной наработки тоннажа могут существенно ухудшиться по ряду причин [1]. Поэтому очистка от засорителей щебеночного балласта на железнодорожном пути является актуальной проблемой. В настоящее время для очистки щебеночного балласта на перегонах и станциях применяются современные щебнеочистительные машины и комплексы, такие как ЩОМ-1200, ЩОМ-1400, ЩОМ-1600, ЩОМ-2000, на стрелочных переводах – RM-76, RM-80, RM-95 австрийской фирмы Plasser & Theurer.

В настоящее время перед всеми производителями стоит вопрос об импортозамещении, в том числе и для производителей путевых машин. Предлагается на базе щебнеочистительного комплекса ЩОМ-1400 спроектировать машину для стрелочных переводов. Щебнеочистительная машина ЩОМ-1400 (рис. 1) состоит из двух секций: добывающе-распределительной и очистной. Машины поставляется с тягово-энергетической машиной ТЭС [2]. Для того чтобы щебнеочистительная машина ЩОМ-1400 обеспечивала ширину вырезки балласта 8000 мм, необходимо увеличить холостой желоб вырезающего устройства (рис. 2).



Рис. 1. Щебнеочистительная машина ЩОМ-1400 [1]

Основным рабочим оборудованием ЩОМ-1400 является вырезающее устройство (рис.2).

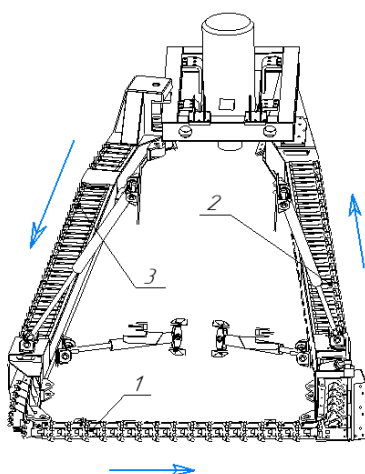


Рис. 2. Вырезающее устройство:

1 – участок вырезки балласта; 2 – желоб рабочий; 3 – желоб холостой

Определим на этапе проектирования рациональные параметры модернизированного ЩОМ-1400.

Опыт эксплуатации щебнеочистительных машин с баровыми рабочими органами показывает, что их производительность во многом зависит от заполнения межскребкового пространства вырезающей цепи, м³/с

$$Q(k, v_{\text{ц}}, S_{\text{скр}}) = k \cdot v_{\text{ц}} \cdot S_{\text{скр}} \quad (1)$$

где k – коэффициент заполнения межскребкового пространства;

$v_{\text{ц}}$ – скорость баровой цепи, м/с;

$S_{\text{скр}}$ – площадь скребка,

$S_{\text{скр}} = 0,13 \text{ м}^2$.

Для эффективной работы машины коэффициент заполнения межскребкового пространства должен быть равен 0,8–0,85 [3]. Коэффициент заполнения является многопараметрической функцией и может быть определен следующим образом

$$k(B, h, k_p, v_m, v_{\text{ц}}, S_{\text{скр}}) = \frac{\Pi}{\Pi_{\Gamma}}, \quad (2)$$

где $\Pi(B, h, v_m, k_p) = Bhv_mk_p$ – производительность машины по разрыхленному щебню, м³/с;

B – ширина вырезаемого слоя щебня, м;

h – толщина вырезаемого слоя щебня, м;

v_m – рабочая скорость движения машины, м/с,

k_p – коэффициент разрыхления щебеночного балласта: $k_p = 1,25 - 1,3$;

$\Pi_{\Gamma}(v_{\text{ц}}, S_{\text{скр}}) = v_{\text{ц}} S_{\text{скр}}$ – геометрическая производительность скребково-цепного рабочего органа, м³/с.

Коэффициент заполнения межскребкового пространства будет определяться по формуле

$$k = \frac{h \cdot B \cdot k_p \cdot v_m}{S_{\text{скр}} \cdot v_{\text{ц}}} \quad (3)$$

Проведя анализ коэффициента заполнения межскребкового пространства и производительности при различной глубине вырезки модернизированного щебнеочистительного комплекса ЩОМ-1400, были найдены рациональные параметры для различных режимов работы (табл.).

Таблица

Рациональные параметры ЩОМ-1400 для стрелочных переводов

Глубина, м	Ширина, м	Коэффициент разрыхления	Скорость цепи, м/с	Скорость машины, м/с	Коэффициент за- полнения	Производи- тельность, м ³ /ч
0,4	8	1,3	3,2	0,083	0,83	1243
0,5	8	1,3	2,6	0,055	0,846	1022
0,6	8	1,3	2,8	0,049	0,84	1100

Выводы

1. Современных отечественных щебнеочистительных машин для стрелочных переводов в России не существует, поэтому необходимо создавать отечественные путевые машины по принципу RM.

2. Коэффициент заполнения зависит от соотношения скорости подачи машины и скорости баровой цепи

3. При значениях коэффициента заполнения межскребкового пространства 0,85 не достигается производительность 1400 м³/ч, заявленная заводом - изготовителем.

Библиографический список

1. Колос А.Ф. Засорение и загрязнение щебеночного балласта при эксплуатации железнодорожного пути // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2022. — Т. 19. — Вып. 3. — С. 558–575.

2. Группа Синара [электронный ресурс]. URL: <https://sinaratm.ru/products/putevaya-tekhnika/shchom-1400/> (дата обращения 17.11.2022).

3. Чалова М.Ю. Совершенствование метода расчета параметров скребково-цепного исполнительного устройства щебнеочистительных машин нового поколения: диссертация к.т.н.:05.02.02 / Чалова Маргарита Юрьева. – М., 2015, –144 с.

References

1. Sinara Group [website]. – Yekaterinburg, 2011. – updated during the day. – URL: Kolos A.F. Blockage and contamination of crushed stone ballast during the operation of a railway track // News of the St. Petersburg University of Railway Transport. — St. Petersburg: PGUPS, 2022. — Vol. 19. — Issue 3. — pp. 558-575.

2. Sinara Group [electronic resource]. URL: <https://sinaratm.ru/products/putevaya-tekhnika/shchom-1400/> (accessed 17.11.2022).

3. Chalova M.Yu. Improvement of the method of calculating the parameters of the scraper-chain actuator of new generation gravel cleaning machines: dissertation of Candidate of Technical Sciences:05.02.02 / Chalova Margarita Yurieva. – M., 2015, -144 p.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ, ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ

УДК 69.057.593

*Воронежский государственный
технический университет
Кандидат технических наук, доцент
кафедры строительной техники и инже-
нерной механики имени проф. Н.А. Ульянова
Н.М. Волков,
e-mail: volkne@bk.ru
Магистрант С.Н. Волков
e-mail: sergeyvolkov2001@gmail.com
Магистрант Селезнева В.Н.
e-mail: svaleria270299@mail.ru*

*Voronezh State
Technical University
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor of the Department of Construction
Equipment and Engineering Mechanics named
after prof. N.A. Ulyanova N.M. Volkov
e-mail: volkne@bk.ru
Master student S.N. Volkov
e-mail: sergeyvolkov2001@gmail.com
Master student Selezneva V.N.
e-mail: svaleria270299@mail.ru*

Н.М. Волков, С.Н. Волков, В.Н. Селезнева

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА СИСТЕМ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕСЪЕМНОЙ ОПАЛУБКИ

Рассмотрено использование несъемной опалубки в малоэтажном строительстве, а также проведено сравнение данной технологии по основным показателям с ближайшими конкурентами. Сформулирован вывод о том, что рациональный выбор типа опалубки, имеет исключительное значение для снижения уровня затрат трудовых и материальных ресурсов в строительстве. Определены основные принципы технологии устройства несъемных опалубочных систем.

Ключевые слова: несъемная опалубка, опалубочные системы, строительство, бетон.

N.M. Volkov, S.N. Volkov, V.N. Selezneva

INVESTIGATION OF THE DEVICE OF MONOLITHIC STRUCTURES SYSTEMS USING PERMANENT FORMWORK

This article discusses the use of fixed formwork in low-rise construction, as well as a comparison of this technology in terms of key indicators with its closest competitors. The conclusion is formulated that the rational choice of the type of formwork is of exceptional importance for reducing the level of labor and material resources in construction. The basic principles of technology for the installation of fixed formwork systems are determined.

Key words: fixed formwork, formwork systems, construction, concrete.

Несъемная опалубка – это устройство, позволяющее быстро и экономично строить монолитные малоэтажные конструкции, при котором часть стены или фундамента остается на месте. Данная технология позволяет использовать опалубку в качестве гидроизоляции, пароизоляции, утеплителя, а также в качестве декоративного элемента.

Технология несъемной опалубки имеет долгую историю развития в различных странах мира. Однако в нашей стране с данной технологией познакомились сравнительно недавно, около 10 лет назад. Несмотря на это, лидерами в данной области стали компании: ГК «Мосстрой-31», ООО «Формекс», ООО «Радомир», ЗАО «Изодем-2000», ООО «Новый Изодем», «Теколит».

Устройство несъемной опалубки является частью сооружения, поэтому разрабатывается индивидуально на каждое здание и не является типовой конструкцией. Именно поэтому данная технология имеет широкое распространение в строительстве малоэтажных зданий, так как крупные сооружения будут экономически не обоснованы и трудозатратны.

Малоэтажные сооружения, такие как коттеджи или выставочные павильоны, часто имеют уникальные архитектурные решения по форме или отделке фасада, и технология несъемной опалубки идеально решает эти задачи.

Несъемную опалубку используют во всех конструктивных частях сооружений: фундаменты, перекрытия, ограждающие конструкции. Технология напоминает конструктор «Lego».

Существует несколько видов несъемной опалубки. Самая распространенная – пенополистирольная. Применяется для возведения стен и фундаментов при малоэтажном строительстве. В ее основе лежит пенополистирол с плотностью 30 кг/м³. Такая плотность в 2 раза выше чем у пенополистирольных плит, применяемых для утепления.

Щепоцементная, изготавливаемая из цемента, который является связующим компонентом и пропитанной различными составами древесины - щепы. Готовые пустотелые панели и блоки являются экологически безопасным материалом.

Фибролитовая – на основе длинных волокон из древесины. Основное преимущество данного вида – высокая прочность на изгиб и сжатие, а также легкость в обработке.

Полистиролбетонная – используется в основном для обустройства межкомнатных перегородок, представляет собой тонкие плиты или пустотелые блоки.

Керамзитобетонная – несъемная опалубка данного вида очень прочная и надежная, но довольно дорогая и требует дополнительного утепления стен. Представляет пустотелый шлакоблок.

Комбинированная, в которой внешняя панель изготовлена из пенополистирольной плиты, а внутренняя стенка из листового материала

Наибольшее распространение в России, да и во всем мире получила несъемная опалубка из арболита и пенополистирола.

Технология несъемной опалубки становится актуальнее с каждым днем, можно выделить основные преимущества:

- экономия времени – блоки легко возводить и переносить;
- вес конструкции становится ниже, это позволяет наращивать высоту сооружения без существенного увеличения нагрузки на нижележащие элементы;
- отсутствие затрат на дополнительное утепление, так как сама опалубка будет являться утеплителем;
- не требует демонтажа, так как становится частью сооружения;
- работу по возведению может выполнять небольшая группа человек.

Помимо плюсов, существуют и минусы в технологии несъемной опалубки:

- в сооружениях с использованием несъемной опалубки очень часто возникает высокая влажность, поэтому следует использовать принудительную вентиляцию;
- требует специального заземления, так как в основе усиления конструкции используется металлическая арматура;

Данный минус относится ко всем видам опалубки – это сезонное ограничение. Летом приходится увлажнять бетон водой.

Основным конкурентом технологии несъемной опалубки является съемная опалубка.

Она позволяет снизить финансовые вложения в строительство, так как ее использование на нескольких объектах предполагает распределение цены на всех заказчиков. Однако сроки на строительство с помощью технологии съемной опалубки значительно снижаются, процесс не требует особых человеческих затрат из-за автоматизации строительства. Также одним из основных плюсов можно выделить высокое качество поверхности опалубки, что снижает объем, цену и продолжительность отделочных работ. При этом конструкции по технологии съемной опалубки выдерживают большие нагрузки и используются на крупных объектах, где бетон оказывает высокое давление на арматуру и опалубку.

Технология несъемной опалубки обеспечивает максимальный уровень теплоизоляции и сохраняет тепло в помещении при экстремальных температурах. Это дает большую экономию на стадии эксплуатации сооружения. Технология не требует нахождения на строительной площадке громоздкой техники, что в свою очередь также является экономичным вариантом. Легкость монтажа из-за невысокого веса опалубки и простоте соединений позволяет значительно сократить трудозатраты и скорость возведения объекта.

Для подтверждения актуальности рассматриваемой темы приведем сравнительные показатели в виде табл. – съемной опалубки из древесины, являющейся наиболее распространенной в России на сегодняшний день и несъемной опалубки из экструдированного полистирола.

Таблица

Сравнительные показатели съемной и несъемной опалубки

Фундамент с применением съемной деревянной опалубки				Фундамент с применением несъемной опалубки ПЕНОПЛЭКС			
Параметры	Кол-во	Цена	Ст-ть	Параметры	Кол-во	Цена	Ст-ть
МАТЕРИАЛЫ							
Объем деревянной опалубки, доска 150х150мм + колышки +распорки	5,2	8000	41472	Объем деревянной опалубки	0	0	0
Объем ПЕНОПЛЭКС (цоколь, отмостка)	4,416	5000	22080	Объем ПЕНОПЛЭКС (опалубка + отмостка)	9,576	5000	47880
Бетон, куб. метр	13,83	4000	55320	Бетон, куб. метр	13,83	4000	55320
Арматура 4 стержня d12, кг	213	32	6816	Арматура 4 стержня d12, кг	213	32	6816
Арматура хомуты d8 с шагом 0,3м, кг	150	32	4800	Арматура хомуты d8 с шагом 0,3м, кг	150	32	4800
Вязальная проволока, кг	5	450	2250	Вязальная проволока, кг	5	450	2250
Крепеж для опалубки (шпилька 65 руб + 2 гайки по 5 руб) – 4 шт/м.пог.	230	75	17250	Крепеж для опалубки (Стяжка+Удлинитель) 8 шт./м.пог.	460	50	23000

Гвозди 2,5х50 (20шт 1 м.п.)	57,6	3	172,8	Тарельчатый винтовой крепеж (6 шт/м.п.)	346	12	4152
РАБОТЫ							
Изготовление армокаркаса, монтаж щитов опалубки, монолитные работы, демонтаж щитов опалубки, демонтаж шпилек, м ³	13,82	8000	110560	Монтаж опалубки, армирование, монолитные работы, м ³	13,82	6000	82920
Утепление фундамента, м ²	28,8	300	8640	Утепление фундамента	0		
ТРАНСПОРТ							
Доставка ПЕНОПЛЭКС			5000	Доставка пиломатериалов			0
Доставка пиломатериалов			5000	Доставка ПЕНОПЛЭКС			5000
Доставка арматуры			5000	Доставка арматуры			5000
Доставка арматуры			5000	Доставка арматуры			5000
ИТОГО							
Итого материалы			150160,80	Итого материалы			144218
Итого работы			119200	Итого работы			82920
Итого транспорт			20000	Итого транспорт			15000
ИТОГО			289360,8	ИТОГО			242138

Вывод

Представленный анализ позволяет утверждать, что за технологией несъемной опалубки стоит будущее строительства. Относительно невысокая цена, простота, многофункциональность и возможность создавать различные архитектурные решения – все это присуще данной технологии будет привлекать инвесторов и проектировщиков.

Библиографический список

1. Ахмедов А.К., Даштамиров М.А., Исрафилов К.А., Кулчаев А.Э., Таушунаев Ш.А., Эркинов Р.М., Несъемная опалубка при строительстве дома. 2017. №3(21). С. 942-944.
2. Гаврилов. А.А., Седова А.А., Шошитаишвили Н.Г. Несъемная опалубка и область ее применения//Инновации и инвестиции. 2020. №3. С. 253-256.
3. Казымов Э.А., Бестужев С.П., Майоров А.В. Применение несъемной опалубки в строительстве// EUROPEAN SCIENCE. 2016. №12(22). С. 89-90.
4. Фетисова М.А., Захаренко А.И., Строительство с использованием несъемной опалубки нового поколения из пенополистирола. 2012. №5. С. 70-71.

5. Монолитные дома в несъемной пенополистирольной опалубке. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://xn--30-zedag.xn--p1ai/monolitnyedoma/> (дата обращения: 26.03.2022).

6. Виды несъемной опалубки. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.delol.ru/main/tehar/347/> (дата обращения: 26.03.2022).

References

1. Akhmedov A.K., Dashtamirov M.A., Israfilov K.A., Kulchaev A.E., Taushunaev Sh.A., Erkenov R.M., Fixed formwork in the construction of a house. 2017. No. 3 (21). pp. 942-944.

2. Gavrilov. A.A., Sedova A.A., Shoshitaishvili N.G. Fixed formwork and its scope//Innovations and investments. 2020. №3. pp. 253-256.

3. Kazymov E.A., Bestuzhev S.P., Maiorov A.V. The use of fixed formwork in construction// EUROPEAN SCIENCE. 2016. No. 12(22). pp. 89-90.

4. Fetisova M.A., Zakharenko A.I., Construction using a new generation of non-removable formwork made of expanded polystyrene. 2012. No. 5. pp. 70-71.

5. Monolithic houses in non-removable polystyrene foam formwork. [Electronic resource]. Access mode: <http://xn-30-zedag.xn--p1ai/monolitnyedoma/> (date of access: 03/26/2022).

6. Types of fixed formwork. [Electronic resource]. Access mode: <http://www.delol.ru/main/tehar/347/> (date of access: 03/26/2022).

*Центр газохимических технологий,
альтернативной энергетики и экологии
ООО «Нижегороднефтегазпроект»*

Инженер 2ой категории АСО

А.П. Гридасов

Россия, г. Ставрополь, тел. +7 (8652) 205530

e-mail: Aleksandr.Gridasov@nngproekt.ru

Инженер строительной группы

В.А. Курсков

Россия, г. Ставрополь, тел. +7 (8652) 205530

e-mail: Vladimir.Kurskov@nngproekt.ru

Начальник АСО З.Ю. Костров

Россия, г. Ставрополь, тел. +7 (8652) 205530

e-mail: Zakhar.Kostrov@nngproekt.ru

Канд. техн. наук, руководитель центра

И.С. Пикалов

Россия, г. Ставрополь, тел. +7 (8652) 205530

e-mail: ilia.pikalov@nngproekt.ru

Заместитель начальника АСО Н.Н. Ткачев

Россия, г. Ставрополь, тел. +7 (8652) 205530

e-mail: Nikolay.Tkachev@nngproekt.ru

ООО «Нижегороднефтегазпроект»

Канд. техн. наук, генеральный директор

С.Ю. Кондауров

Россия, г. Нижний Новгород,

тел. +7 (831) 422-33-33

e-mail: info@nngproekt.ru

*Руководитель Департамента по управлению
обособленными подразделениями*

А.В. Кочергин

Россия, г. Нижний Новгород,

тел. +7 (831) 422-33-33

e-mail: andrey.kochergin@nngproekt.ru

*Center for Gas Chemical Technologies,
Alternative Energy and Ecology at
Nizhegorodneftegazproekt LLC*

2nd category engineer of the ACD

A.P. Gridasov

Russia, Stavropol, tel. +7 (8652) 205530

e-mail: Aleksandr.Gridasov@nngproekt.ru

Engineer of the construction group

V.A. Kurskov

Russia, Stavropol, tel. +7 (8652) 205530

e-mail: Vladimir.Kurskov@nngproekt.ru

Head of ACD Z.Yu. Kostrov

Russia, Stavropol, tel. +7 (8652) 205530

e-mail: Zakhar.Kostrov@nngproekt.ru

PhD of Tech.Sciences, head of the center

I.S. Pikalov

Russia, Stavropol, tel. +7 (8652) 205530

e-mail: ilia.pikalov@nngproekt.ru

Deputy Head of the ACD N.N. Tkachev

Russia, Stavropol, tel. +7 (8652) 205530

e-mail: Nikolay.Tkachev@nngproekt.ru

Nizhegorodneftegazproekt LLC

PhD of Tech.Sciences, general manager

S.Yu. Kondaurlov

Russia, Nizhny Novgorod,

tel. +7 (831) 422-33-33

e-mail: info@nngproekt.ru

*Head of Department for Management of Sep-
arate Subdivisions*

A.V. Kochergin

Russia, Nizhny Novgorod,

tel. +7 (831) 422-33-33

e-mail: andrey.kochergin@nngproekt.ru

*А.П. Гридасов, В.А. Курсков, З.Ю. Костров, И.С. Пикалов,
Н.Н. Ткачев, С.Ю. Кондауров, А.В. Кочергин*

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ TEKLA STRUCTURES ПРИ РАЗРАБОТКЕ ДОКУМЕНТАЦИИ ДЛЯ ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ НА ПРИМЕРЕ УСТАНОВКИ ПИРОЛИЗА

В статье описан опыт применения ПО информационного моделирования зданий, в частности, Tekla Structures при проектировании установки пиролиза. Отмечены основные преимущества и недостатки, выявленные при использовании данного программного обеспечения. Представлены фрагменты 3D модели и чертежная документация, выполненные с помощью ПО Tekla Structures.

Ключевые слова: BIM-технологии, программное обеспечение Tekla Structures, проектирование, моделирование, трехмерная модель, чертежная документация.

A.P. Gridasov, V.A. Kurskov, Z.Yu. Kostrov, I.S. Pikalov,
N.N. Tkachev, S.Yu. Kondaurov, A.V. Kochergin

THE EXPERIENCE OF USING TEKLA STRUCTURES WHEN DEVELOPMENT OF INSITE BATTERY LIMITS PETROCHEMICAL DOCUMENTATION ON THE EXAMPLE OF STEAM CRACKER

This article describes the experience of using building information modeling software, in particular, Tekla Structures, when designing a steam cracker unit. The main advantages and disadvantages identified during the use of this software are noted. Fragments of 3D model and drawing documentation made using Tekla Structures software are presented.

Keywords: BIM technologies, software Tekla Structures, design, modeling, 3D model, drawing documentation.

Проектирование является основной и неотъемлемой частью строительной отрасли, получившее за последние 10-15 лет значительное развитие, как в России, так и за рубежом, за счет внедрения систем автоматизированного проектирования (САПР) [1].

В настоящее время для автоматизации процесса проектирования широко применяются BIM-технологии (Building Information Modelling), позволяющие существенно повысить качественный уровень проектирования различных объектов, упростить процесс согласования основных технических решений, а также дать заказчику дополнительные возможности на последующих стадиях жизненного цикла объекта [2-4].

На мировом рынке существует большое количество программных комплексов, работающих с BIM-технологиями: ArchiCAD, Autodesk Revit Architecture, Autodesk Revit Structural, Sofistic, Tekla Structures, ЛИРА-САПР, САПФИР-3D, Advance, SCAD и др. [5-7]. Данные программы делятся на несколько групп по аспектам проектирования (для архитектурных и конструктивных решений, для гидротехнического строительства и др.).

С функциональной точки зрения, для разработки рабочей документации марок КЖ, КМ и КМД наиболее применимым является программное обеспечение Tekla Structures. Данное ПО позволяет выполнять и управлять точными 3D моделями конструкций зданий и сооружений любой сложности из любого материала [8-10].

В настоящей работе описан опыт применения ПО Tekla Structures в рамках работ по проектированию установки пиролиза. Ключевым фактором данных работ являлось то, что полученная 2D документация должна была полностью соответствовать 3D модели, то есть доработка чертежей в 2D CAD комплексах (AutoCAD, nanoCAD) не допускалась.

ПО Tekla Structures позволяет создавать детальные трехмерные модели зданий, с прорисовкой всех узлов и соединений, которые могут сочетать в себе как физическую модель, так и аналитическую. Эта модель также может быть использована для различных типов анализа, к примеру, получения графической части проектной и рабочей документации или расчетных моделей. Таким образом, сферой применения программы Tekla Structures является полный структурный процесс возведения объектов от концептуального проектирования до строительства. На рис. 1 приведены примеры 3D моделей (*a, б*) и чертежей (*в, г*) эстакад, разработанных в ПО Tekla Structures.

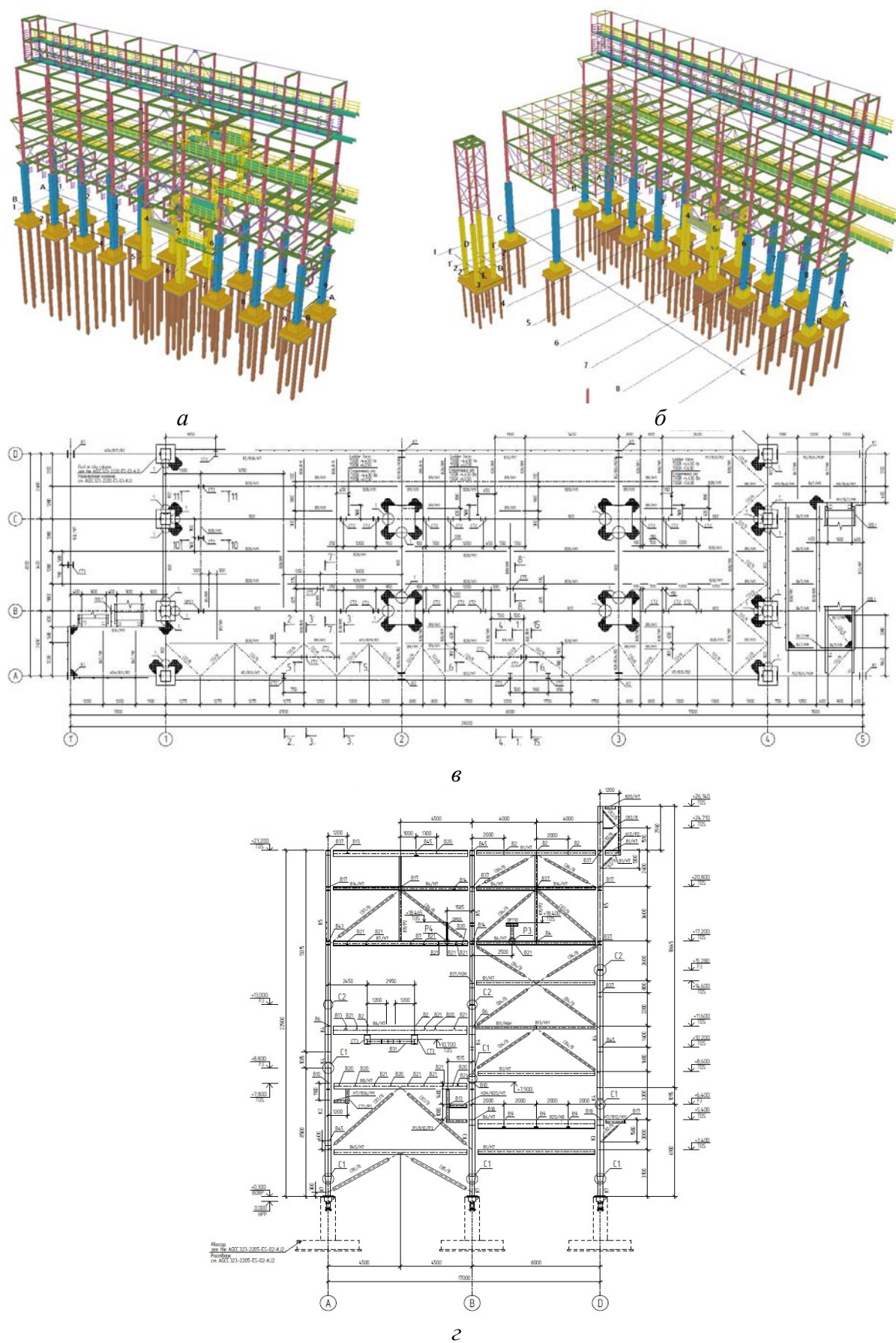


Рис. 1. Примеры 3D моделей (а, б) и чертежей (в, г) эстакад

В ходе работ было определено, что данное ПО недостаточно адаптировано под российские нормы для выпуска документации, соответствующей высоким требованиям заказчика по оформлению и информативности. Данное ограничение поставило несколько дополнительных задач, а именно получение адаптированной программы для комфортной работы и соответствие полученной документации СТО, нормам ЕСКД и СПДС. Учитывая это, сотрудникам ООО «ННГП» пришлось основательно подойти к изучению данного ПО, что в свою очередь позволило использовать не только готовые решения, предоставляемые Tekla Structures, но и создавать собственные решения (компоненты, штампы, преднастройки и т.д.) и утилиты (автоматизированные таблицы, спецификации и т.д.) в области оформления, моделирования и автоматизации процесса проектирования.

Основным преимуществом BIM-технологий является визуальное представление объектов строительства в объеме (рис. 2). Информационная модель сооружения позволяет быстро понять структуру объекта и облегчает процесс представления конструктивных решений. Наглядный вид конструктивной схемы сооружения в объеме дает возможность определить несоответствия расчетной схеме, исключая серьезные ошибки и коллизии, значительно облегчая подбор оптимального варианта. Стоит отметить, что это также большой плюс для людей, ранее не имевших вовсе или имевших достаточно малый опыт проектирования.

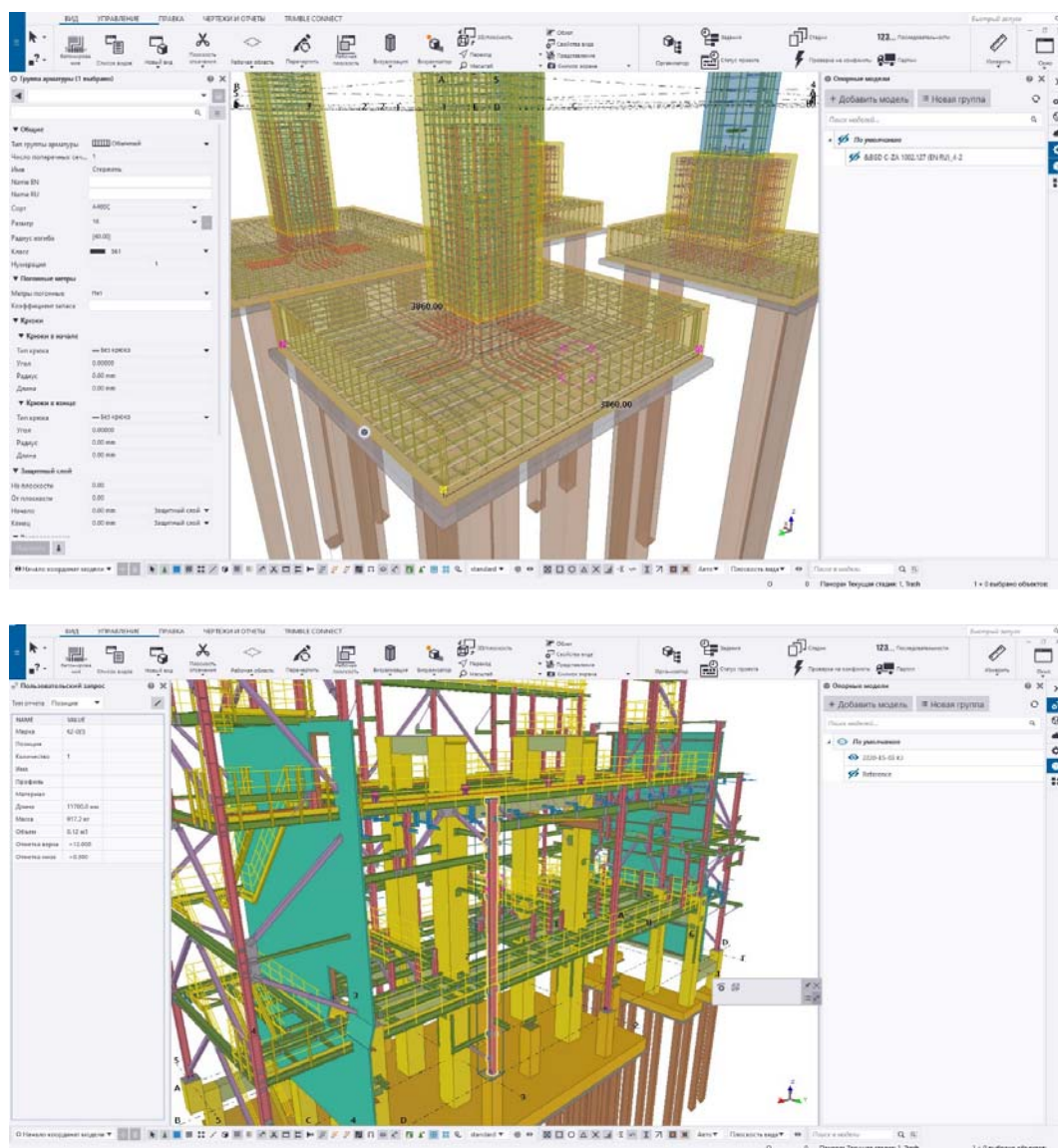


Рис. 2. Пример объектов строительства в объеме

При использовании корректной методики составления информационной модели и правильной выдачи задания смежными отделами, время для составления документации значительно сокращается, так как большую часть процесса создания 2D документации можно автоматизировать. Но некоторым из ключевых факторов необходимо уделять достаточно много внимания, это верные принципы преобразования 3D модели в 2D документацию (преднастройки среды, свойства видовых экранов и т.д.), а также правильность заполнения атрибутов информационной модели (для специфицирования, составления таблиц и т.д.).

Следует отметить, что в Tekla Structures основным принципом является вывод документации из 3D модели. Пространство редактирования чертежа, где отображается, казалось бы, 2D график — это лишь отдельное представление, проекция, той же самой 3D модели в ином стиле отображения.

Изменяя трехмерный элемент в модели единожды, мы, по сути, корректируем данный элемент (изменяя графическое представление, атрибутику и т.д.) на всех видовых экранах, что исключает ошибки, связанных с невнимательностью. Так же, при условии использования корректных формул составления спецификаций и правильного заполнения атрибутов модели, помимо графической меняется и информационная составляющая чертежа (специфицирование материалов, металлоконструкций). Используя средства автоматизированного 3D моделирования (компоненты, утилиты, плагины, созданные при помощи API и т.д.), есть возможность автоматической перенастройки геометрической и информационной составляющей модели под новые условия без участия проектировщика. Использование трехмерной модели также повышает точность оценки стоимости проекта, так как позволяет с высокой точностью рассчитать необходимые физические объемы материалов для проекта без значительной трудности. Пример интерфейса стандартного компонента представлен на рис. 3, а пример чертежа базы колонны, созданный стандартными компонентами на рис. 4.

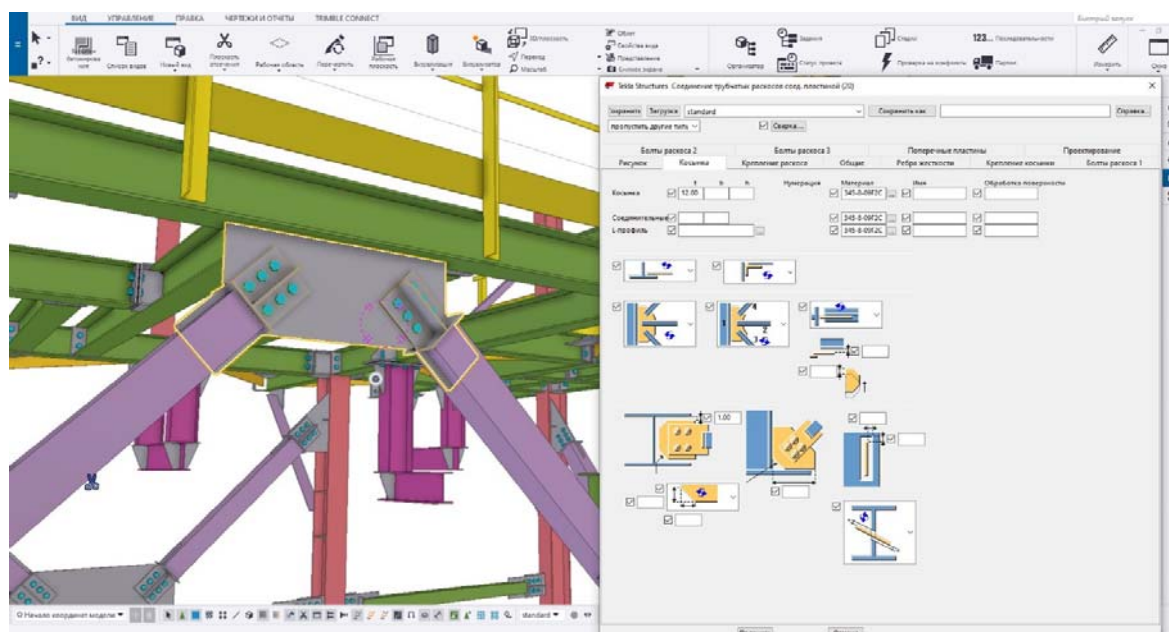


Рис. 3. Пример интерфейса стандартного компонента

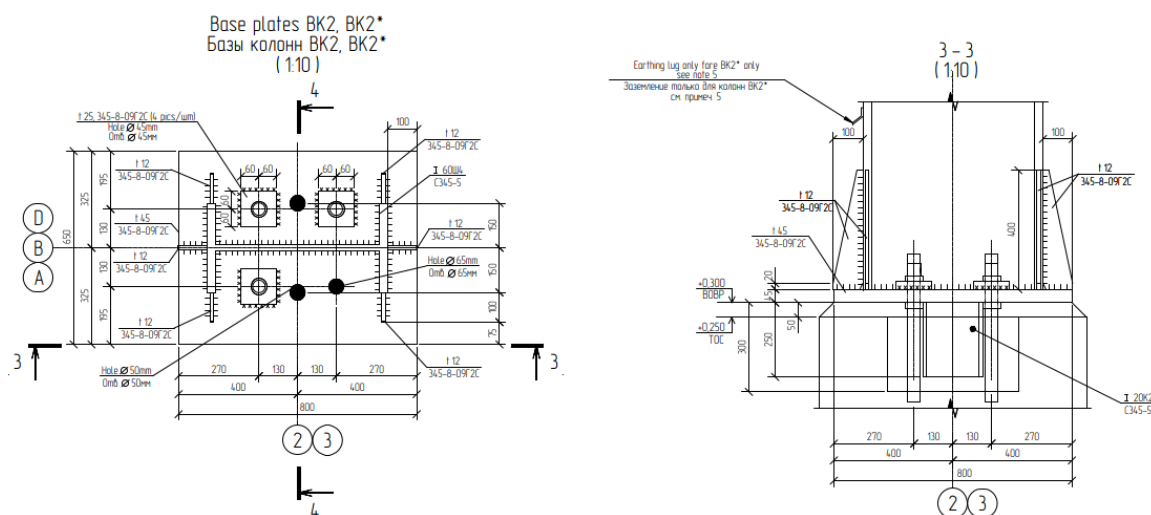


Рис. 4. Пример чертежа базы колонны, созданный стандартными компонентами

Огромным плюсом работы в ПО Tekla Structures является возможность более эффективного взаимодействия между отделами, связанными с проектированием сооружения. Например, в ходе работ от заказчика было получено задание в виде смоделированного каркаса металлоконструкций (рис. 5), что значительно сократило количество времени для проектирования, так как потребность «возведения» 3D модели с нуля отпала. Так же была исключена надобность корректного размещения сетки осей в нужных координатах, составления каркаса сооружения из основных конструкций и т.д. Данное задание можно было использовать как для составления 2D документации, так и создания аналитической модели для таких расчетных программ как ПК Лира-САПР и SCAD Office. Однако, при проектировании установки пиролиза данная возможность не использовалась, так как на тот момент отсутствовали инструменты корректного преобразования геометрической модели в аналитическую. Модель, проработанную до стадии получения документации марки КМ, можно в свою очередь затем использовать как задание для составления документации марки КМД и т.д.

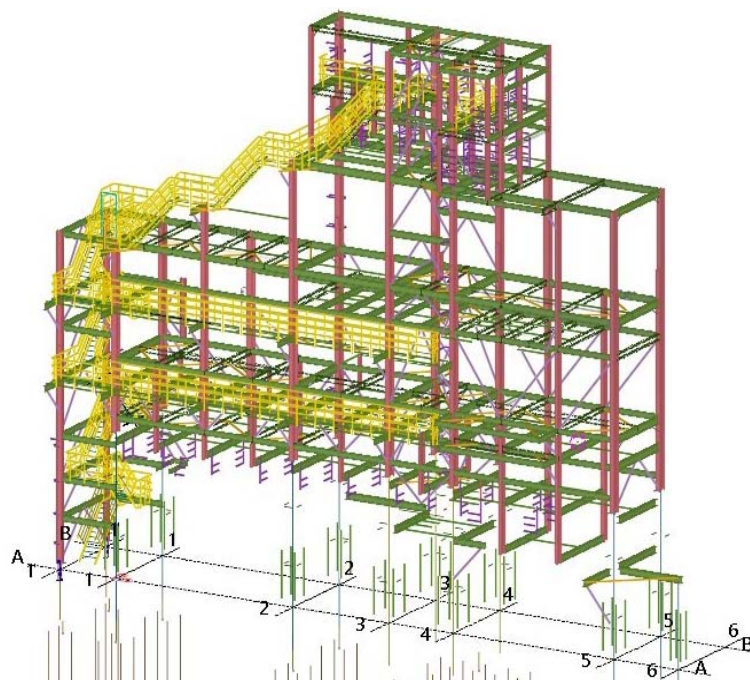


Рис. 5. Пример выдаваемого задания на проектирование смежным отделом

Одним из результатов создания информационной модели являлась 3D модель, которую можно было использовать для составления сводной модели (общая 3D модель комплекса или сооружения), в которой присутствуют результаты работы смежных отделов, использовавших различные ПК, ориентированные на 3D проектирование (AVEVA и т.п.). Основной функцией составления сводной модели для строительного отдела являлась проверка модели на коллизии и получения задания на их дельнейшую корректировку в случае выявления (рис. 6).

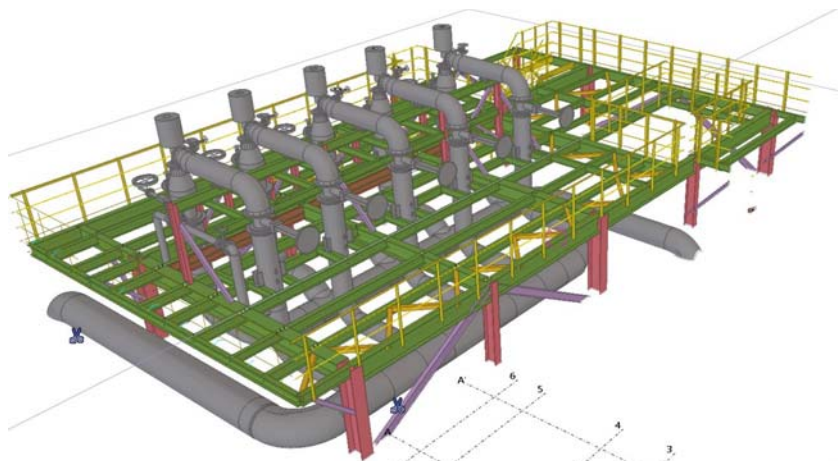


Рис. 6. Совмещение 3D модели смежного отдела с моделью объекта проектирования

Стоит также отметить, что у ПО Tekla Structures открытое API (набор протоколов и инструментов), которое позволяет пользователям самостоятельно модифицировать приложение для более удобного проектирования, автоматизации процесса, исключения ошибок проектирования, адаптации приложения к различным условиям и т.д., используя различные языки программирования, например, самый распространенный C#. На рис. 7 представлен пример написания скрипта в Microsoft Visual Studio, используя Tekla API.

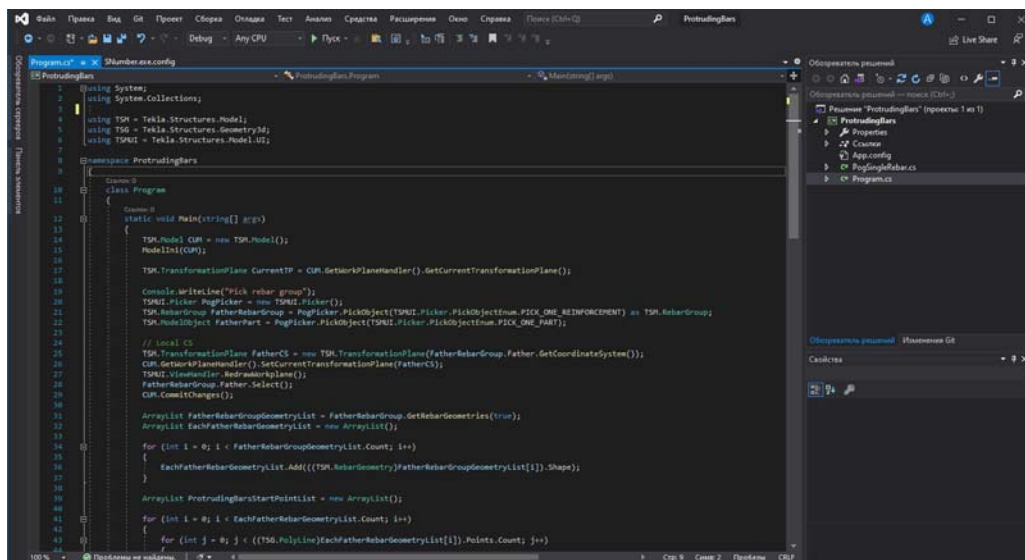


Рис. 7. Пример написания скрипта в Microsoft Visual Studio, используя Tekla API

Достаточно интересным плюсом и значительным отличием данного ПО от программ для 2D проектирования является возможность параллельной работы нескольких сотрудников по одному объекту, то есть разделение работу не только по конструктивным блокам, но и

функционалу. Например, моделированием металлического каркаса по расчетной схеме может заниматься один человек, а делать планы и разрезы по этой модели другой.

В ходе работы в Tekla Structures было выявлено несколько минусов данной программы. Одним из немногих, но довольно значительным, является высокий порог вхождения для комфортной работы. Основная причина проблемы – различная логика работы BIM и CAD программ. Принципы получения графической документации при использовании методов BIM-проектирования в корне отличаются от методов 2D проектирования. В BIM-технологиях первостепенной является именно 3D модель, что приводит к замедлению процесса проектирования на начальных этапах. Возникает потребность в дополнительном обучении сотрудников, которое значительно усложняется недостатком русскоязычной информации о ПО Tekla Structures.

Одним из основных принципов BIM моделирования является наполнение 3D модели информативной составляющей (заполнение атрибутов и свойств объектов). На рис. 8 представлен чертеж изометрической проекции этажерки. Для правильности и ускорения процесса проектирования (особенно, когда работа идет в команде) очень важно составления регламентов, которые будут определять, какая атрибутика будет присутствовать, по каким принципам она заполняется, как её контролировать и как её использовать в дальнейшем. Это является как плюсом, так и минусом, так как в зависимости от правильного заполнения атрибутивной информации, значительную часть процесса проектирования можно автоматизировать. Однако возникает необходимость в контроле заполнения атрибутики для исключения ошибок некорректного заполнения модели информацией.

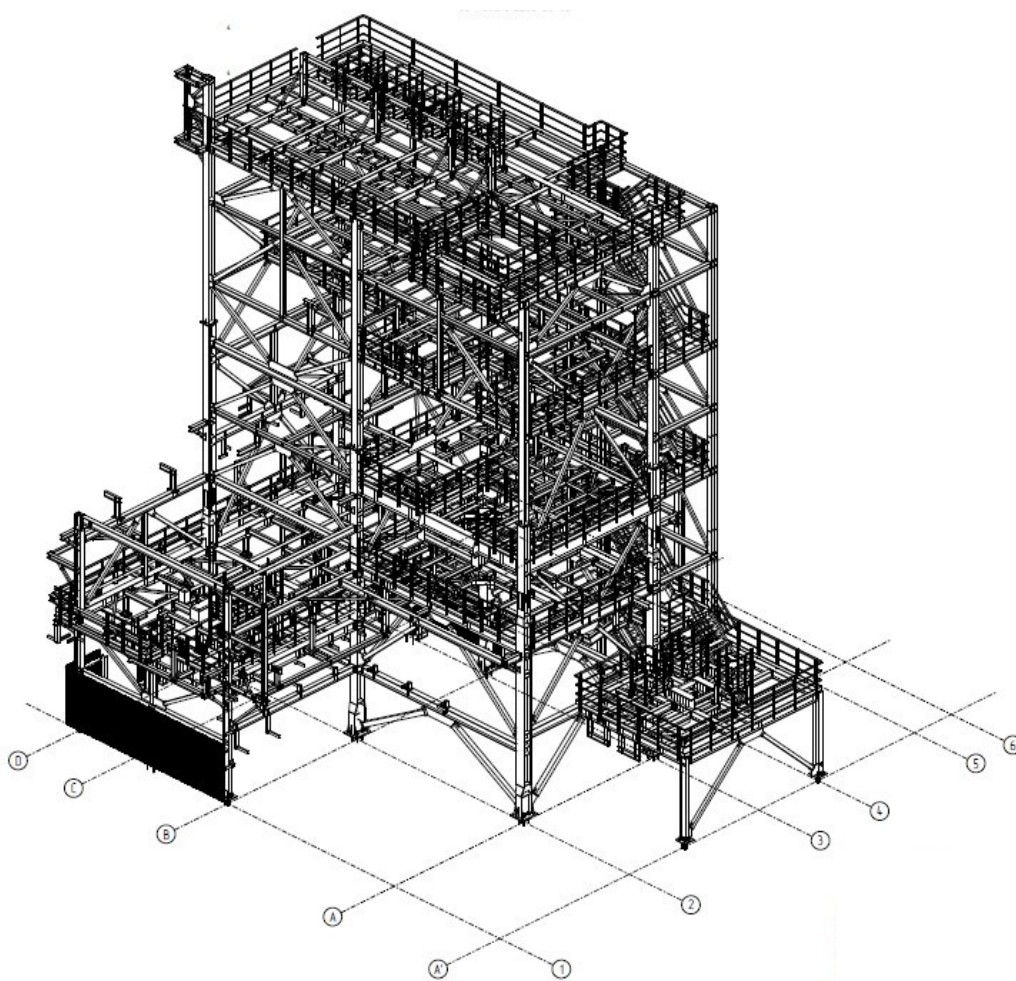


Рис. 8. Чертеж изометрической проекции этажерки

Выводы

В статье представлен анализ полученного опыта применения ПО Tekla Structures при проектировании технологических установок основных производств нефтехимии. В ходе данных работ была разработана документация сооружениям нефтехимического комплекса (многоярусные эстакады, технологические этажерки), где общий объем конструкций составил порядка 1200 тонн.

Основные преимущества, выявленные за время использования ПО Tekla Structures:

- визуальное представление объектов строительства в 3D;
- скорость получения документации;
- более быстрая корректировка документации в случае получения измененного задания или ошибок проектирования;
- возможность более эффективного взаимодействия между отделами;
- использование полученной 3D модели для сведения в общую модель;
- открытый API (Application Programming Interface);
- эффективное разделение работ.

Также было выделено несколько минусов ПО Tekla Structures:

- высокий порог вхождения в программу;
- необходимость создания регламентов, устанавливающих нормы работы в программе;
- санкционная политика производителей ПК.

Библиографический список

1. Малявкина Л.И., Волобуев К.А. Тенденции развития систем автоматизированного проектирования // Научные записки ОрелГИЭТ. 2015. № 1. С. 31-34.
2. Ginzburg A., Shilova L., Shilov L. The modern standards of information modeling in construction // Scientific Review. 2017. Vol. 9. P. 6–20.
3. Ding L., Zhou Y., Akinci B. Building Information Modeling (BIM) application framework: the process of expanding from 3D to computable // Automation in construction. 2014. No. 46. P. 82–93.
4. Талапов В.В. Три принципа, лежащие в основе BIM // Компьютер. Пресс. 2016. № 8. С. 12-15.
5. Антонов А., Емельянов А., Храпкин П. Использование САПР различных конфигураций // САПР и графика. 2015. № 6. С. 10-13.
6. Письмеров К. Применение Autodesk Revit Structure для решения задач проектирования сложных выставочных конструкций: от идеи до реализации // САПР и Графика. 2017. № 3. С. 47-48.
7. Гура Т.А., Уткина О.А. Использование BIM технологий в строительстве и проектировании // Научные труды КубГТУ. 2018. № 2. С. 272-284.
8. Черных М. А., Якушев Н. М. BIM-технология и программные продукты на его основе в России // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2014. № 1. С. 119-121.
9. Лукьянов А.А., Пириева С.Ю., Черняев В.В. Проектирование с Tekla: особенности и преимущества // Образование, наука, производство. 2016. С. 1406-1410.
10. Барановский М.Ю., Тарасов В.А., Зарубин П.Е. Tekla Structures – инновации для создания конструкций // Строительство будущих зданий и сооружений. 2013. № 6. С. 20-27.

References

1. Malyavkina L.I., Volobuev K.A. Trends in the development of computer-aided design systems // Scientific notes of OrelSIET. 2015. No. 1. P. 31-34.

2. Ginzburg A., Shilova L., Shilov L. The modern standards of information modeling in construction // Scientific Review. 2017. Vol. 9. P. 6–20.
3. Ding L., Zhou Y., Akinici B. Building Information Modeling (BIM) application framework: the process of expanding from 3D to computable // Automation in construction. 2014. No. 46. P. 82–93.
4. Talapov V.V. Three principles underlying BIM // Computer. Press. 2016. No. 8. P. 12-15.
5. Antonov A., Emelyanov A., Khrapkin P. The use of CAD systems of various configurations // CAD and graphics. 2015. No. 6. P. 10-13.
6. Pismerov K. Using Autodesk Revit Structure for solving problems of designing complex exhibition structures: from idea to implementation // CAD and graphics. 2017. No. 3. P. 47-48.
7. Gura T.A., Utkina O.A. The use of BIM technologies in construction and design // Scientific works of the KSTU. 2018. No. 2. P. 272-284.
8. Chernykh M.A., Yakushev N.M. BIM technology and software based on it in Russia // Bulletin of ISTU named after M.T. Kalashnikov. 2014. No. 1. P. 119-121.
9. Lukyanov A.A., Pirieva S.Yu., Chernyaev V.V. Design with Tekla: features and benefits // Education, science, production. 2016. P. 1406-1410.
10. Baranovsky M.Yu., Tarasov V.A., Zarubin P.E. Tekla Structures - is innovation of structures's calculation // Construction of unique buildings and structures. 2013. No. 6. P. 20-27.

Воронежский государственный технический университет
Канд. техн. наук, доцент
А.В. Еремин;

Россия, г. Воронеж, тел. +7-910-346-95-87
e-mail: bora.av@mail.ru

Канд. техн. наук, доцент

В.П. Волокитин;

Россия, г. Воронеж, тел. +7-910-343-59-37
e-mail: nova.vp@mail.ru

*Воронежский государственный
технический университет*

*Студент 4 курса Дорожно-транспортного
факультета Ф.М. Абрамов*

Россия, г. Воронеж, тел. +7(950) 754-81-44
e-mail: fabramov2001@mail.ru

Voronezh State Technical University
Cand. of Tech. Science, Associate prof.
A.V. Eremin;

Russia, Voronezh, tel. +7-910-346-95-87
e-mail: bora.av@mail.ru

Cand. of Tech. Science, Associate prof.

V.P. Volokitin;

Russia, Voronezh, tel. +7-910-343-59-37
e-mail: nova.vp@mail.ru

*Voronezh State
Technical University*

*Fourth year student of the Faculty of Roads
and Transport F.M. Abramov*

Russia, Voronezh, tel. +7(950) 754-81-44
e-mail: fabramov2001@mail.ru

А.В. Еремин, В.П. Волокитин, Ф.М. Абрамов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ БАЛОК ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

В статье описано одно из современных конструктивных решений по усилению конструкций пролетных строений балочных мостов и путепроводов с использованием композитных материалов, основанных на базальтовых и углеродных волокнах.

Ключевые слова: мост; путепровод; усиление несущей способности; углеродные волокна; базальтовые волокна; углепластик.

A.V. Eremin, V.P. Volokitin, F.M. Abramov

THE USE OF COMPOSITE MATERIALS TO INCREASE THE LOAD CAPACITY OF BRIDGE SPAN BEAMS

The article describes one of the modern design solutions for strengthening the structures of spans of girder bridges and overpasses using composite materials based on basalt and carbon fibers.

Keywords: bridge; overpass; load-bearing capacity reinforcement; carbon fibers; basalt fibers; carbon fiber.

На автомобильных дорогах в настоящее время эксплуатируется большое количество железобетонных мостовых сооружений, построенных во времена СССР и запроектированных под разные нормативные нагрузки. Они не были рассчитаны на увеличение интенсивности движения транспортных средств и увеличение нагрузок.

Около 20% мостовых сооружений на дорогах общего пользования в настоящее время полностью не удовлетворяют современным требованиям по грузоподъемности с введением нормативных нагрузок А14 и Н14.

Кроме вышеуказанного фактора, в мостах и путепроводах возникают разного рода дефекты, связанные с агрессивным воздействием окружающей среды, неправильным обслуживанием и физическим износом конструкций. В результате воздействия совокупности этих факторов, грузоподъемность и пропускная способность мостовых сооружений значительно снижается. Восстановить ее можно за счет как строительства нового сооружения, так и реконструкции уже существующего.

Строительство нового объекта требует большого вложения финансовых средств, поэтому для восстановления несущей способности заменяют, усиливают или укрепляют отдельные балки пролетных строений. Это можно сделать в ходе программы реконструкции. Она позволяет возобновить или же повысить характеристики пролетных строений и, как следствие, самого мостового сооружения в максимально короткие сроки с минимальными затратами. Одним из достоинств реконструкции перед строительством – частичное или полное сохранение движения автомобильного потока по сооружению в период проведения работ.

Выделяют несколько основных способов увеличения несущей способности пролетных строений мостовых сооружений:

- увеличение поперечного сечения элементов пролетных строений;
- установка высокопрочных преднапряженных элементов (стержней, канатов);
- наклейка стержневой или листовой арматуры в зонах ослабления конструкции;
- усиление балок пролетных строений шпренгелями;
- усиление балок с помощью композитных материалов.

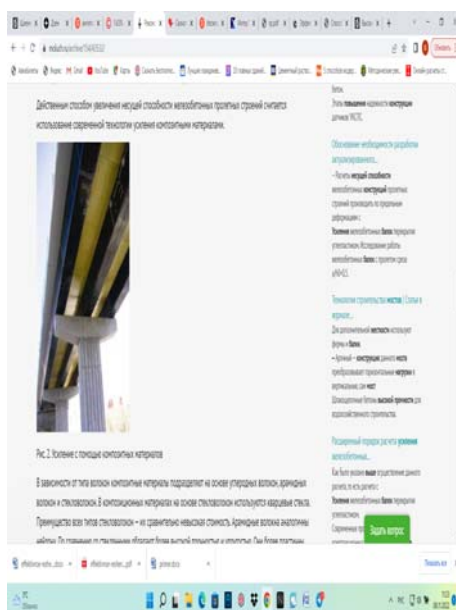


Рис. 1. Усиление пролетного строения с помощью композитного материала

Использование современных технологий в последнем из вышеуказанных методов позволяет значительно увеличить несущую способность балок, при этом не увеличивая их собственных вес, на столько сильно, как при использовании других методов.

В зависимости от разновидности волокон композитные материалы подразделяют:

- на основе углеродных волокон;
- на основе армидных волокон;
- на основе стекловолокон.

Плюсом всех видов стекловолокон является их сравнительно невысокая стоимость. Армидные аналогичны нейлону. По сравнению со стеклянными обладают более высокой упругостью и прочностью. Они пластичны при растяжении, но при сжатии сохраняют упругость до момента разрушения.

Наибольшее применение для усиления пролетных строений получили композитные материалы на основе углеродных волокон. Они обладают наивысшей прочностью на растяжение и сжатие, их модуль упругости наиболее близок к показателю стали. Кроме этого, они имеют высокую стойкость к воздействию агрессивных сред.

Рассмотрим один из вариантов усиления балок пролетного строения.

Его сущность заключается в приклейке композитной ламели к нижней грани балок. Она так же может быть закреплена на концах балок с помощью поперечных U-образных хомутов, выполненных из полос композитной ткани. FibArm Tape у опорной зоны балки с целью восприятия поперечной силы.

Для увеличения показателей возможно послойное внешнее армирование этим способом в несколько этапов.

Покажем процесс усиления балок пролетного строения с использованием материалов от отечественной компании «Композит».

На первом этапе выполняется приклейка одной ламели шириной 100 мм из композитного материала ITECWRAPCL1–140 к нижней грани балки и четырех ламелей шириной 100 мм из композитного материала ITECWRAPCL1–140 к боковым граням балки (рис.2а).

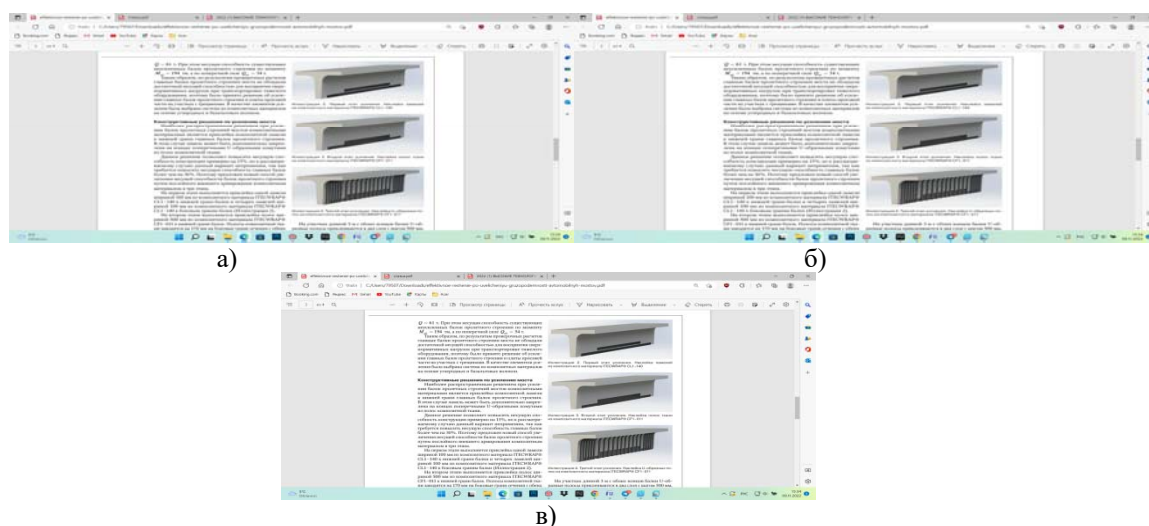


Рис. 2. Усиления балки пролетного строения композитным материалом в три этапа

На втором этапе выполняется приклейка полос шириной 500 мм из композитного материала ITECWRAP CF1–011 к нижней грани балок. Полосы композитной ткани заводятся на 170 мм на боковые грани сечения с обеих сторон. Композитная ткань наклеивается в два слоя (рис.2б).

На третьем этапе выполняется приклейка поперечных U-образных полос шириной 250 мм из композитного материала ITECWRAP CF1–011.

На участках длиной 3 м с обоих концов балки U-образные полосы приклеиваются в два слоя с шагом 500 мм, а в средней части балки U-образные полосы закрепляются с шагом 1000 мм. Такие элементы усиления выполняют двойную функцию: во-первых, увеличивают несущую способность балки по поперечной силе на приопорных участках, а во-вторых, дополнительно закрепляют полосы композитной ткани для лучшей их работы совместно с усиливаемой конструкцией (рис. 2в).

Технические характеристики применяемых композитных материалов отражены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики примененных композитных материалов

Таблица 1. Технические характеристики применяемых композитных материалов

Наименование материала	ПТСЖКАРФ СЛ-140	ПТСЖКАРФ СЛ-140	ПТСЖКАРФ СЛ-140
Тип материала	Листы из композитного материала	Листы из композитного материала	Листы из композитного материала
Толщина, мм	10	10	10
Модуль упругости, МПа	17000	23000	31000
R_s , МПа	1100	4900	2100
R_s , МПа	1070	3200	1200
Плотность, г/см³	1,4	0,111	0,16
ϵ_f	0,05	0,8	0,7
k_s	0,45	0,9	0,9
Нормальный вес, кг/м²	0,21	0,2	0,4

Оценка несущей способности балки по нормальным сечениям на действие изгибающего момента (рис.3) выполняется по формуле 1

$$M \leq R_s A_s (h_{01} - 0,5x) + R_{fu} A_f (h_{02} - 0,5x), \quad (1)$$

где R_s – расчетная прочность растянутой стальной арматуры;

A_s – площади поперечного сечения растянутой арматуры;

h_{01} , h_{02} – расстояние от верхней сжатой грани сечения до центра тяжести растянутой стальной и композитной арматуры соответственно;

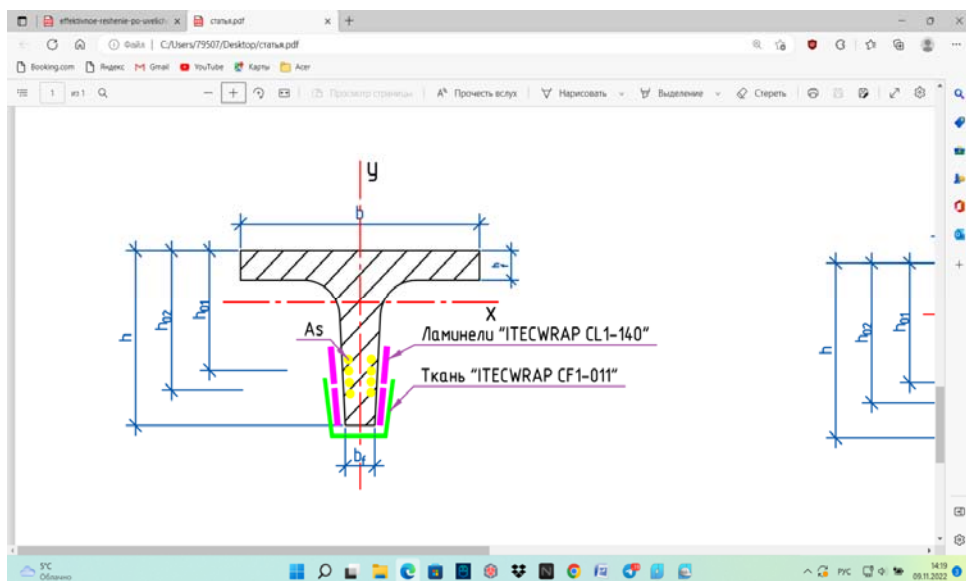


Рис. 3. Расчетное сечение в пролете балки



(2)

R_{fu} – прочность композитного материала при изгибе;

k_m – коэффициент условий работы композитного усиления, зависящий от жесткости элементов усиления;

C_e – коэффициент условий работы композитного материала;

γ_m – коэффициент надежности композитного материала ($\gamma_m=1,1$);

A_f – площадь поперечного сечения композитной арматуры;



(3)

Несущую способность балки по наклонным сечениям на действие на действие поперечной силы (рис.4) определяют как

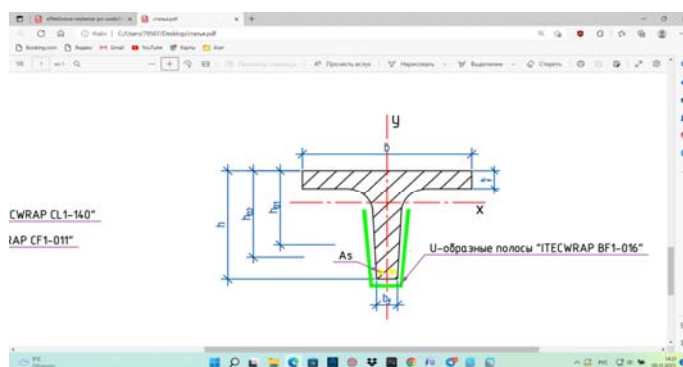


Рис. 4. Расчетное сечение вблизи опоры балки



(4)

Q_b , Q_{sw} , $Q_{s, inc}$ – поперечные усилия, воспринимаемые бетоном сжатой зоны, поперечной стальной арматурой, отогнутыми стержнями продольной арматуры.

$A_{f, sh}$ – площадь сечения поперечной композитной арматуры;

σ_{fy} – напряжения в композитной арматуре в предельном состоянии;
 S_f – шаг наклейки U-образных полос усиления из композитного материала.

Подводя итоги, можно говорить о следующих преимуществах использования данного метода:

-Послойное армирование композитными материалами позволяет повысить несущую способность балок пролетного строения более чем в два раза, по сравнению с ранее существовавшими методами усиления композитными материалами.

-Данный способ усиления, при отсутствии значительных технических недостатков, обладает рядом достоинств по сравнению с различными способами усиления стальными профилями.

-Применение композитных материалов позволяет существенно ускорить и упростить процесс реконструкции эксплуатируемых мостовых сооружений, как следствие, дает возможность увеличить поток пропускаемых транспортных средств, по сравнению с привычным процессом реконструкции.

Библиографический список

1. СП 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования» (Приказ Минстроя России от 8 августа 2014 г. № 452/пр).
2. Кудрявцев С.В., Кудрявцев В.А., Гурьянов Ю.В. Эффективное решение по увеличению грузоподъемности автомобильных мостов. Академический вестник УралНИИпроект РААСН, 2014.
3. [Электронный ресурс] - <https://compozit.pro/>.

References

1. SP 164.1325800.2014 "Reinforcement of reinforced concrete structures with composite materials. Design Rules" (Order of the Ministry of Construction of the Russian Federation No. 452/pr dated August 8, 2014).
2. Kudryavtsev S.V., Kudryavtsev V.A., Guryanov Yu.V. An effective solution to increase the load capacity of automobile bridges. Academic Bulletin of UralNIIproekt RAASN, 2014.
3. [Electronic resource] - <https://compozit.pro/>.

Воронежский государственный
технический университет
аспирант, кафедры строительства
и эксплуатации автомобильных дорог
А.В. Жабцев

e-mail: zhabtsev@mail.ru

Канд. тех. наук, доцент кафедры строитель-
ства и эксплуатации автомобильных дорог

А.С. Строкин

e-mail: alexmech23@gmail.com

Канд. тех. наук, доцент кафедры строитель-
ства и эксплуатации автомобильных дорог

Е.Б. Тюков

e-mail: bars4@inbox.ru

Россия, г. Воронеж, тел. +7 (473) 236-18-89.

Voronezh State

Technical University

PhD student of Pulpit construction
and usages of the car roads

A.V. Zhabtsev

e-mail: zhabtsev@mail.ru

Ph. D. in Engineering, Assoc. Prof. of Pul-
pit construction and usages of the car roads

A.S. Strokin

e-mail: alexmech23@gmail.com

Ph. D. in Engineering, Assoc. Prof. of Pul-
pit construction and usages of the car roads

Ye.B. Tyukov

e-mail: bars4@inbox.ru

Russia, Voronezh, ph +7(473) 236-18-89.

А.В. Жабцев, А.С. Строкин, Е.Б. Тюков

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ К ОБРАЗОВАНИЮ КОЛЕИ НА АВТОДОРОЖНЫХ МОСТАХ

На автодорожных мостах при высоких температурах снижается модуль упругости асфальтобетона. Решение данной проблемы колееобразования в асфальтобетонном покрытии предусматривает повышенные требования к компонентам смесей, совершенствование способов конструирования дорожной одежды, а также к приготовлению, транспортировке, укладке и уплотнению асфальтобетонных смесей. Для повышения колееустойчивости асфальтобетона на автодорожных мостах необходимо применять битумы, модифицированные полимерами и прошедшие методы контроля процесса модификации.

Ключевые слова: битум, полимер, модифицированное битумное вяжущее, адгезив, пенетрации, эластичность, коэффициент вариации.

A.V. Zhabtsev, A.S. Strokin, Ye.B. Tyukov

IMPROVING THE STABILITY OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENT TO THE FORMATION OF A TRACK ON ROAD BRIDGES

On road bridges, the elastic modulus of asphalt concrete decreases at high temperatures. The solution to this problem of rutting in asphalt concrete pavement provides for increased requirements for the components of mixtures, improvement of methods for the construction of pavement, as well as for the preparation, transportation, laying and compaction of asphalt concrete mixtures. To increase the waterproofness of asphalt concrete on road bridges, it is necessary to use bitumen modified with polymers and passed methods of control of the modification process.

Keywords: bitumen, polymer, modified bitumen binder, adhesive, penetrations, elasticity, coefficient of variation.

При эксплуатации асфальтобетонного покрытия на автодорожных мостах на его поверхности появляются и накапливаются пластические деформации в виде колеи, что связано с недостаточной колееустойчивостью покрытия в условиях повышенных температур и слабого сцепления между слоями асфальтобетонов и жесткой основой моста.

Проблема недостаточной устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колеи усиливается еще тем, что на автодорожных мостах при высоких температурах существенно снижается модуль упругости асфальтобетона, а модуль упругости основания практически не меняется. Это приводит к концентрации напряжений на контакте асфальтобетона с железобетоном и значительным горизонтальным сдвиговым деформациям.

Кроме того, значительная разница коэффициентов линейного температурного деформирования покрытия и основания моста часто приводит к отслоению асфальтобетонного покрытия от жесткой основы мостового полотна при колебаниях температуры [1-4]. Поэтому решение основной проблемы образования колеи в асфальтобетонном покрытии на автодорожных мостах решается практическими методами. Параметры можно разделить на три основные группы. Первая группа – рецептурно-структурные способы направленного регулирования характеристик асфальтобетонного покрытия предусматривает применение подходов, повышающих устойчивость асфальтобетонного покрытия к образованию колеи. С этой целью предполагается применить повышенные требования к компонентам смесей, их зернового состава и свойств асфальтобетонных смесей и асфальтобетона. Вторая группа – конструктивные способы по направлению регулирования характеристик асфальтобетонного покрытия, связанные с предыдущим конструированием дорожной одежды с асфальтобетонными слоями на мостах и с последующим выполнением расчетов для конкретных исходных условий по действующим нормативным документам. Третья группа параметров – технологические способы регулирования характеристик асфальтобетонного покрытия, направленные на повышение требований к технологическим операциям по приготовлению, транспортировке, укладке и уплотнению асфальтобетонных смесей.

Наиболее распространенным и эффективным способом повышения качества и долговечности асфальтобетона является применение битумов, модифицированных полимерами и адгезивами, что позволяет значительно улучшить деформативные свойства асфальтобетона. С целью повышения колееустойчивости асфальтобетонного покрытия на автодорожных мостах применяются битумы, модифицированные полимерами, с учетом категории дороги и дорожно-климатического районирования.

На производстве для обеспечения качества битума необходимо определить момент времени завершения процесса до полной стабилизации свойств и однородности битумного вяжущего [2-6].

Предлагаются процедуры установления экспериментальных зависимостей изменения характеристик битумного вяжущего от времени модификации: пенетрации при 25 °С, эластичности, сцепления и коэффициентов вариации соответствующих характеристик. Момент времени завершения модификации битумного вяжущего устанавливается как по признакам стабилизации свойств, так и по достижении его гомогенности.

В начале модификации битума вводят полимер и устанавливают время завершения этой операции. Определяют адгезивные свойства битумного вяжущего. Если они не соответствуют требованиям нормативных документов, то вводят адгезивы. В этом случае определяют завершение модификации полученного битумного вяжущего адгезивами по показателям стабилизации свойств и однородности. Оценка стабилизации свойств и гомогенизации битумного вяжущего, при введении полимера, осуществляется по критериям: скорости изменения пенетрации, которая должна быть не более, чем $2 \text{ мм } 10^{-1}$ (0,1 мм); скорости изменения эластичности – она должна быть не более, чем 2%; коэффициента вариации по показателям пенетрации и эластичности, который должен быть не более чем 2% [3-8].

Время завершения модификации принимается равным тому времени, при котором происходят процессы стабилизации и гомогенизации битумного вяжущего. Поэтому, получаемые результаты определения пенетрации и эластичности и их коэффициентов вариации при разном времени отбора проб и на основе полученных данных оценивают изменение этих характеристик на каждом этапе смешивания между моментами отбора проб. Если однородность битумного вяжущего достигается быстрее стабилизация свойств по показателю пенетрации, то момент достижения коэффициента вариации по показателю пенетрации своего порогового значения соответствует времени. Он меньше, чем момент времени, соответствующий завершению стабилизации пенетрации. Поэтому процесс завершения модификации битума полимерами произойдет тогда, когда время перемешивания будет равно или больше времени стабилизации по показателю пенетрации.

Если стабилизация свойств битумного вяжущего достигается быстрее, чем однородность по показателю пенетрации, то момент достижения коэффициентом вариации по показателю пенетрации своего порогового значения соответствует времени большему, чем время завершения стабилизации пенетрации. Поэтому, процесс завершения модификации, битума полимерами произойдет тогда, когда время перемешивания будет больше или равно, чем время стабилизации по показателю пенетрации [3-12].

Если однородность битумного вяжущего достигается быстрее, чем стабилизация свойств по показателю эластичности, то момент достижения коэффициентом вариации по показателю эластичности своего порогового значения соответствует времени меньшему, чем момент, соответствующий завершению стабилизации эластичности. Поэтому процесс завершения модификации битума полимерами произойдет тогда, когда время перемешивания будет равняться или будет больше, чем время стабилизации по показателю эластичности. Стабилизация свойств битумного вяжущего достигается быстрее, чем однородность по показателю эластичности. Момент достижения коэффициентом вариации по показателю эластичности своего порогового значения соответствует времени больше, чем моменту времени, соответствующий завершению стабилизации эластичности. Поэтому процесс завершения модификации, битума полимерами произойдет тогда, когда время перемешивания будет равняться или будет больше, чем время стабилизации по показателю пенетрации.

Во время модификации битумного вяжущего отбор проб для испытаний осуществляют с таким интервалом времени отбора, чтобы получить достоверную информацию о завершении стабилизации свойств и однородности модифицированного вяжущего. Режим отбора проб при модификации битума, полимером устанавливается с учетом темпов стабилизации свойств. Если характер таких темпов не известен для модификации битума определенным полимером, то необходимо предварительно осуществить пробную модификацию, установить характер темпа модификации и выбрать соответствующий режим отбора проб.

Выводы

1. Сформулированы параметры основных проблем образования колеи в асфальтобетонном покрытии на автодорожных мостах.
2. Предложен метод контроля процесса модификации полимерами битумов, с использованием стандартных методов испытания вязких нефтяных дорожных битумов.

Библиографический список

1. Гохман Л.М., Золотарев В.А., Гезенцев Л.Б. Исследование деформационной устойчивости асфальтобетона с применением ПБВ в статистическом и динамическом режиме деформирования: Труды СоюздорНИИ, 1977. - № 89. -С. 68-87.

2. Онищенко А. М., Кузьминец М. П., Невингловский В. Ф., Гаркуша М. В. Теоретические и практические исследования ресурса асфальтобетонного покрытия на железобетонных транспортных сооружениях: монография. М.: НТУ, 2015. 323 с.
3. Онищенко А. М., Кузьминец М. П., Невингловский В. Ф., Гаркуша М. В. Теоретические и практические исследования ресурса асфальтобетонного покрытия на железобетонных транспортных сооружениях: монография. М.: НТУ, 2015. 323 с.
4. Бонченко Г. А. Асфальтобетон. Сдвигоустойчивость и технология модифицирования полимера. М.: Машиностроение, 1994. 175 с.
5. Калгин Ю.И. Перспективные технологии строительства и ремонта дорожных покрытий с применением модифицированных битумов / Ю.И.Калгин, А.С. Строкин, Е.Б. Тюков. – Воронеж: ОАО Воронежская областная типография, 2014 г. – 224 с.
6. Руденский А.В. Дорожные асфальтобетонные покрытия на модифицированных битумах. /А.В. Руденский, Ю.И. Калгин; Воронеж.гос. арх.-строит. ун-т. – Воронеж, 2009. – 143 с.
7. Золотарев В. А. Битумы, модифицированные полимерами типа СБС: Особенности состава, структуры и свойств /В. А. Золотарев// Доклад на международной научно-технической конференции «Проблемы повышения качества и ресурсосбережения в дорожной отрасли». – Харьков: ХНАДУ, 2003. – 17 с.
8. Золотарев В. А. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы с добавками в дорожном строительстве /В. А. Золотарев, В. И. Братчун.// Всемирная дорожная ассоциация. Технический комитет «Нежесткие дороги» (s8). – Харьков: ХНАДУ, 2003. – 229 с.
9. Александров А. С. Применение теории наследственной ползучести к расчету деформаций при воздействии повторных нагрузок: монография. Омск: СибАДИ, 2014. 152 с.
10. Золотарев В. А. Испытания дорожно-строительных материалов: лабораторный практикум / В.А. Золотарев, В.И. Братчун, А.В. Космин и др.; под ред. В.А. Золотарева, А.В. Космина. – Харьков: ХНАДУ, 2012. – 368 с.
11. Molenaar, J.M.M. An investigation into the specification of rheological properties of polymer modified bitumen / J.M.M. Molenaar, E.T. Hagos, M.F.C. Van De Ven // Proceedings 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress. 12–14 may 2004. – Vienna, 2004. – P. 2080–2091.
12. Александров А. С. Применение теории наследственной ползучести к расчету деформаций при воздействии повторных нагрузок: монография. Омск: СибАДИ, 2014. 152 с.

References

1. Gokhman L.M., Zolotarev V.A., Gezentsvey L.B. Investigation of the deformation stability of asphalt concrete using PBB in statistical and dynamic deformation processes: Proceedings of Soyuzdornii, 1977. - No. 89. -pp. 68-87.
2. Onishchenko A.M., Kuzminets M. P., Nevinglovsky V. F., Garkusha M. V. Theoretical and practical studies of the resource of asphalt concrete pavement on reinforced concrete transport structures: monograph. M.: NTU, 2015. 323 p.
3. Onishchenko A.M., Kuzminets M. P., Nevinglovsky V. F., Garkusha M. V. Theoretical and practical studies of the resource of asphalt concrete pavement on reinforced concrete transport structures: monograph. M.: NTU, 2015. 323 p.
4. Bonchenko G. A. Asphalt concrete. Shear stability and polymer modification technology. Moscow: Mashinostroenie, 1994. 175 p.
5. Kalgin Yu.I. Promising technologies for the construction and repair of road surfaces using modified bitumen / Yu.I.Kalgin, A.S. Strokin, E.B. Tyukov. – Voronezh: JSC Voronezh Regional Printing House, 2014 – 224 p.
6. Rudensky A.V. Road asphalt concrete coatings on modified bitumen. /A.V. Rudensky, Yu.I. Kalgin; Voronezh.state arch.-builds. un-T. – Voronezh, 2009. – 143 p.

7. Zolotarev V. A. Bitumen modified with polymers of the SBS type: Features of composition, structure and properties /V. A. Zolotarev// Report at the international scientific and technical conference "Problems of quality improvement and resource saving in the high-cost industry". – Kharkiv: KHNADU, 2003. – 17 p.
8. Zolotarev V. A. Modified bitumen binders, special bitumen with additives in road construction /V. A. Zolotarev, V. I. Bratchun.// World Road Association. Technical Committee "Non-rigid roads" (s8). - Kharkiv: KHNADU, 2003. – 229 p.
9. Alexandrov A. S. Application of the theory of hereditary creep to the calculation of deformations under repeated loads: monograph. Omsk: SibADI, 2014. 152 p.
10. Zolotarev V. A. Tests of road-building materials: laboratory workshop / V.A. Zolotarev, V.I. Bratchun, A.V. Kosmin, etc.; edited by V.A. Zolotarev, A.V. Kosmin. – Kharkiv: KHNADU, 2012. – 368 p.
11. Molenaar, J.M.M. An investigation into the specification of rheological properties of polymer modified bitumen / J.M.M. Molenaar, E.T. Hagos, M.F.C. Van De Ven // Proceedings 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress. 12–14 may 2004. – Vienna, 2004. – P. 2080–2091.
12. Alexandrov A. S. Application of the theory of hereditary creep to the calculation of deformations under repeated loads: monograph. Omsk: SibADI, 2014. 152 p.

*Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого
студент группы 3150801/00102
Инженерно-строительного института
А.Ф. Шашков
Россия, г. Санкт-Петербург,
e-mail: shashkov.af@edu.spbstu.ru
Канд. техн. наук, доцент Высшей школы
промышленно-гражданского и дорожного
строительства О.С. Гамаюнова
Россия, г. Санкт-Петербург,
тел. +7(921) 965-88-25
e-mail: gamayunova_os@spbstu.ru*

*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic
University
student of group 3150801/00102 of the Civil
Engineering Institute
A.F. Shashkov
Russia, St.Petersburg,
e-mail: shashkov.af@edu.spbstu.ru
Ph.D., Associate Professor of the Higher
School of Industrial, Civil and Road
Construction O.S. Gamayunova
Russia, St.Petersburg,
tel. +7(921) 965-88-25
e-mail: gamayunova_os@spbstu.ru*

А.Ф. Шашков, О.С. Гамаюнова

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Для повышения точности и скорости проведения работ и последующей обработки данных полученных при обследовании зданий и сооружений, а также для снижения рисков, связанных с возможностью нанесения вреда здоровью человека, в строительной сфере все чаще применяются роботы. В ходе исследования был проведен анализ преимуществ использования роботов в обследовании зданий и сооружений, представлены методы обследования и классификация строительных роботов, дана оценка мировой практике применения строительных роботов, представлены результаты обработки данных первичного обследования зданий и сооружений.

Ключевые слова: обследование, методы неразрушающего контроля, беспилотные летательные аппараты, лазерное сканирование, тепловизионная съемка, роботы.

A.F. Shashkov, O.S. Gamayunova

INNOVATIVE METHODS FOR SURVEYING BUILDINGS AND STRUCTURES

To improve the accuracy and speed of work and the subsequent processing of data obtained during the inspection of buildings and structures, as well as to reduce the risks associated with the possibility of harm to human health, robots are increasingly being used in the construction industry. In the course of the study, an analysis was made of the advantages of using robots in the inspection of buildings and structures, methods of inspection and classification of construction robots were presented, an assessment was made of the world practice of using construction robots, and the results of processing data from the initial inspection of buildings and structures were presented.

Keywords: survey, non-destructive testing methods, unmanned aerial vehicles, laser scanning, thermal imaging, robots.

Современные взгляды на вопросы, касающиеся методов обследования зданий и сооружений, регулярно отражаются в научных публикациях как российских, так и зарубежных исследователей.

Многие исследования приводят классификацию основных методов технического обследования состояния строительных конструкций, а также частные случаи их практического применения. Во многих случаях с целью обеспечения безопасности и качества строительных работ применяют методы неразрушающего контроля и локального разрушения [1-5]. Новоселова И.В., Денисенко Ю.С., Гагиева З.И., Питык А.Н., Малянова Л.И., Сергеева М.А., Скляренко А.В., Виноградова Е.В. весьма подробно описали применение методов неразрушающего контроля и дали рекомендации по их выбору с учетом параметров контролируемого объекта [3, 4, 6].

Кавелин А.С., Тютин А.Д., Нуриев В.Э., Колотиенко М.А., Салов А.С., Гайнанова Э.С. рассматривают возможность применения при обследовании зданий и сооружений тепловизионных устройств [7, 8].

Применение для обследования конструкций зданий метода пассивной сейсморазведки HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) иностранными учеными представлено в работе уральских исследователей [8]. Воскресенский М.Н., Парыгин Г.И., Сенина Т.Е., Сенин Л.Н. построили карту распределения коэффициентов уязвимости здания, а также выявили «слабые» места конструкции с применением спектрального анализа. Соргутов И.В. предложил при помощи методов сейсморазведки проводить обследование оснований и фундаментов, что по мнению автора позволит получить необходимую информацию о геологической среде и может иметь решающее значение для снижения риска обрушения зданий [9].

В научных публикациях последних лет появляется всё больше публикаций, рассматривающих визуальное обследование и контроль зданий с помощью аэросъемки с использованием беспилотных летательных аппаратов [10-12]. Коренев В.В., Орлова Н.С., Улыбин А.В., Федотов С.Д., Шашков А.Ф., Олехнович Я.А. подробно описали применение мультикоптеров и фотограмметрии для строительного контроля зданий и сооружений [3]. Возможности и преимущества лазерного сканирования при обследовании зданий и сооружений рассмотрены в работах [13-15].

Дополнительно стоит обратить внимание на публикации, касающиеся оценки стоимости работ по обследованию зданий и сооружений [16, 17]. Сударь О.Ю., Улыбин А.В., Кукушкина Г.А. представили обзор существующих нормативов ценообразования по техническому обследованию зданий и сооружений, по итогам которого сделан вывод о необходимости разработки единого сборника для определения стоимости обследования. Также авторы констатировали отсутствие единого подхода к формированию цены на выполнение работ.

Методы обследования зданий и сооружений

Обследование технического состояния строительных конструкций охватывает комплекс вопросов, связанных с обеспечением эксплуатационной надежности зданий, с проведением ремонтно-восстановительных работ, а также с разработкой проектной документации по реконструкции зданий и сооружений [18].

Существует множество методов обследования зданий и сооружений. При этом используются различные геодезические приборы, пилотируемые и беспилотные летательные аппараты, а также роботы [19].

Классический метод обследования реализуется при непосредственном присутствии рабочих на обследуемом объекте, ими осуществляются необходимые измерения и исследования при помощи различного оборудования и геодезических приборов. Данный метод является самым распространенным и применяется повсеместно.

Обследование зданий и сооружений с использованием пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов, также широко распространено. Метод позволяет производить аэро-

фотосъемку труднодоступных объектов и сократить время осуществления обследования. Применяется для мониторинга зданий и сооружений на различных этапах проектирования, строительства и эксплуатации [20].

Использование роботов является инновационным методом, его главным преимуществом является то, что роботы могут выполнять все функции, что и люди, но применяться для обследования различных конструкций зданий, которые недоступны для человека и летательных аппаратов, разрушенных или аварийных объектов, а также в местах биологического или радиационного заражения, без подвергания опасности рабочих.

Использование роботов полностью исключает надобность присутствия человека в месте проведения работ. Роботы оснащены различными приборами и датчиками, которые обеспечивают сбор информации из окружающей среды. Как правило устройства, применяемые в обследовании зданий и сооружений, обладают небольшими габаритами и модульной структурой строения, это позволяет снизить стоимость и дает возможность оперативной замены поврежденного модуля. Все эти преимущества делают применение роботов в обследовании зданий и сооружений крайне эффективным и актуальным решением в области строительства, позволяют исключить ущерб рабочему персоналу при работе в зонах повышенной опасности [21-23].

Также использование роботов необходимо для обследования и мониторинга тех мест конструкций и зон, которые недоступны для визуального осмотра человеком и требуют регулярного наблюдения, например, для таких объектов как: системы кондиционирования или вентиляции, шахты лифтов, зоны биологической опасности, зоны радиоактивного загрязнения, местности, труднодоступные для человека, из-за их естественных особенностей (рельеф, климат и т.д.).

Мировые тенденции внедрения роботов в строительную сферу

Лидерами по внедрению роботов в различные сферы строительства являются Япония, США, Германия и Южная Корея. В данных странах уделяют большое внимание процессу роботизации в различных сферах строительства, что позволяет увеличить скорость и повысить качество проведения различных строительных работ, а также уменьшить количество присутствующих людей на строительной площадке, что положительно влияет на безопасность и стоимость данных работ.

Самым ярким примером применения роботов для обследования зданий и сооружений является ликвидация последствий аварии на японской атомной станции «Фукусима-1» в 2011 году. Роботы применялись для исследования повреждений, контроля уровня радиационного фона, измерения температуры и влажности в непосредственной близости активной зоны реактора, а также для разбора завалов и оценки ущерба, нанесенного аварией.

Одной из инновационных разработок, созданной для ликвидации аварии, был мини-робот PMORPH (рис.1), способный изменять форму для проникновения в самые труднодоступные места.

Робот обладает массой менее 8 кг и диаметром около 10 см, он состоит из трех поворотных звеньев. Перемещается данная модель при помощи гусениц, установленных на ее боковых сегментах. Робот предназначен для визуальной и дозиметрической разведки, измерения температуры в условиях высокой радиации. PMORPH - первое устройство, с помощью которого провели удачную серию обследований нижней части контейнмента аварийного блока № 1 АЭС «Фукусима-1».

К сожалению, в России роботов для обследования зданий и сооружений применяют крайне редко, это связано с низким уровнем развития робототехники и высокими затратами разработки.

Роботы успешно применялись в ликвидации последствий аварии на четвертом энергоблоке Чернобыльской АЭС в 1986 году. Меньше чем за 4 месяца советскими учеными на основе лунохода был создан Транспортный Робот – СТР 1 (рис.2). В процессе эксплуатации

робот осуществлял расчистку завалов, визуальный осмотр территорий с помощью бортовых камер и проводил радиационную разведку. Шасси данного робота представляло шести колесное транспортное средство с повышенной проходимостью. Автономность робота обеспечивалось с помощью двух серебряно-цинковых батарей, отсутствие кабелей позволило обеспечить высокую мобильность устройства.

По оценке экспертов, использование СТР 1 позволило исключить работу в опасных зонах порядка 1000 человек и удалить с кровли около 90 тон радиоактивных материалов.

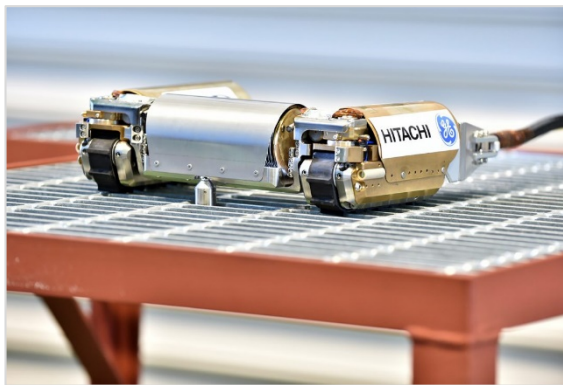


Рис. 1. Робот системы PMORPH¹



Рис. 2. Советский робот СТР-1²

Виды роботов для обследования зданий и сооружений

Обследование зданий и сооружений может представлять из себя работы по исследованию различных участков. Для каждой конкретной ситуации могут применяться как системы из нескольких роботов, так и отдельные роботы.

Для обследования построек с большой площадью применяют мобильных роботов, объединенных в единую систему, которая управляется базовой станцией. Базовая станция управляет все процессом сбора данных: формирует траекторию движения и закрепляет задачи для каждого устройства. Чаще всего главной задачей системы роботов является установка различных датчиков на обследуемые части объекта, для этого роботы оснащены специальными манипуляторами. Все полученные данные в общий центр, где происходит их обработка.

Для обследования небольших поврежденных поверхностей применяется комбинированная система функций отдельных роботов, установленная на одно устройство. Данным роботом управляет оператор, который может использовать отдельное оборудование. Система еще не получила массового распространения из трудностей, связанных с перемещением на некоторых участках.

Для обследования труднодоступных участков, где движение характеризуется сложной траекторией, применяют отдельных роботов. Сейчас самыми инновационными разработками являются роботы вертикального перемещения (рис.3, рис.4). Их отличительной чертой являются вакуумные захватные устройства, которые позволяют надежно закрепляться на поверхности. На таких роботах возможно устанавливать различное оборудование для сбора данных [24].

¹ Атомоботы [Электронный ресурс]. – URL: <https://atomicexpert.com> (дата обращения: 02.04.2022)

² Роботы чернобыля (Часть-3) [Электронный ресурс]. – URL: <https://chernobyladventure.com> (дата обращения: 06.04.2022)

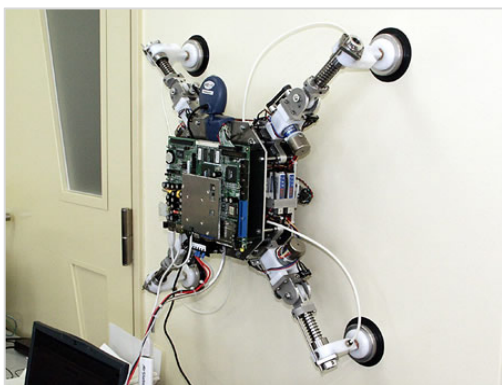


Рис. 3. Робот вертикального перемещения³



Рис. 4. Робот вертикального перемещения HR-MP20⁴

У каждого вида робота есть свои преимущества, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Преимущества отдельных типов роботов

Система роботов		Отдельные роботы
Система, управляемая центральной базой	Комбинированная система функций отдельных роботов	
– Не требует контроля, со стороны человека, работы проводятся в автоматическом режиме; – Быстрый сбор данных;	– Многофункциональность-использование функций, различных типов роботов; – Управление производится оператором, за счет этого уменьшается цена робота и его автономность.	– Перемещение по сложным траекториям; – Возможность перемещения по наклонным и вертикальным поверхностям; – Обследование недоступных для человека элементов зданий и сооружений.

Разнообразие видов роботов дает возможность применять наиболее подходящие модели со своими преимуществами в определенной ситуации для обследования зданий и сооружений. Несмотря на это можно выделить основные требования, которые присущи каждому типу:

- небольшие габариты для передвижения по сложным или разрушенным участкам;
- модульная конструкция, которая позволяет производить ремонт устройства на месте проведения обследования, а также менять устанавливаемое оборудование;
- наличие датчиков для ориентирования в пространстве;

Чаще всего роботы применяются для обследования инженерных коммуникаций зданий и сооружений, так как эти пространства являются крайне труднодоступными для человека.

В ходе проведения данных работ возникают трудности, связанные с сужением (увеличением) диаметров труб, изменение форм труб (повороты, разветвления, наклонные и вертикальные поверхности). Также для обследования инженерных коммуникаций требуется установка на роботов большого количества различного оборудования, которое повышает расход энергии, но из-за сложности траектории движения не всегда удастся подключить проводное соединение с устройством и приходится использовать беспроводные технологии. Для увеличения автономности специалисты разрабатывают мощные аккумуляторы и батареи, которые смогут обеспечить длительную работу робота.

³ Robotech. Разное [Электронный ресурс]. – URL: <http://robotech-krasnodar.ru/gallery/other> (дата обращения: 28.04.2022)

⁴ Helical Robotics announces new wind turbine inspection robots [Электронный ресурс]. – URL: <https://newatlas.com/helical-robotics-wind-turbine-inspection-robots/26921/> (дата обращения: 27.04.2022)

Для работы в трубах, вентиляционных каналах или в системе кондиционирования, требуются сложные алгоритмы для построения траектории движения роботов. В данный момент еще не найден оптимальный алгоритм, который смог бы с максимальной точностью произвести расчеты. Это связано с тем, что нет единого программного обеспечения, которое устанавливалось бы на большинство моделей роботов [25].

Способы обследования зданий и сооружений

За счет установки на роботов различного оборудования, они способны производить обследование всеми ныне применяющимися способами, что делает их многофункциональными и применимыми для любых задач. Способы обследования и цели их применения указаны в таблице 2 [26].

Таблица 2

Способы обследования зданий и сооружений,
цели применения и требуемые приборы и оборудование

Способы обследования зданий и сооружений	Применение	Требуемые приборы и оборудование
Визуальный	Первичный осмотр объекта, с целью выявления видимых дефектов	Фото и видеокамеры
Акустический	Определение звукопроницаемости материалов конструкций	Ультразвуковые дефектоскопы
Электромагнитный	Исследование структуры, толщин дефектов, трубопроводов, фундаментов и других конструкций	Электромагнитные индикаторы и датчики
Радиометрический	Определение плотности камня, бетона и сыпучих материалов	Дозиметры, рентгеновские аппараты
Нейтронный	Определение плотности и влажности бетона и камня	Нейтронные дефектоскопы
Электрооптический	Определение параметров вибрации конструкции	Система осветительных, оптических и регистрирующих устройств
Тепловизорный	Выявление теплопотерь зданий и сооружений	Тепловизоры

Обработка полученных роботом данных

При обработке данных, самой главной целью является увеличение точности производимых измерений. Применение роботов для обследования зданий и сооружений позволило получать информацию намного быстрее и в том виде, в котором она будет удобна для обработки. Сейчас, инженеры создают различные алгоритмы и программы, с помощью которых время обработки данных будет уменьшаться в разы.

Роботы по способу обработки данных делятся на два типа: через компьютерный модуль и с помощью диспетчера. В первом случае, все данные, которые фиксирует робот с помощью различных приборов и датчиков, обрабатываются мощным компьютером. Во втором случае, когда требуется проанализировать полученные фотоснимки или видеоизображение, обработкой занимается человек.

Преимущества обработки данных через компьютер заключается в том, что исключается человеческий фактор и за счет высокой производительности большое количество данных обрабатывается за меньшее время. Если же обработкой информации занимается человек, то снижается стоимость оборудования и повышается автономность робота. Результатами обработки данных являются различные 3D-модели объектов (рис.5), снимки, сделанные с помощью тепловизора (рис.6), графики и прочее. Все полученные данные используются для получения картины повреждений, обеспечения безопасного проведения работ, использования при проектировании и мониторинга технического состояния зданий и сооружений.

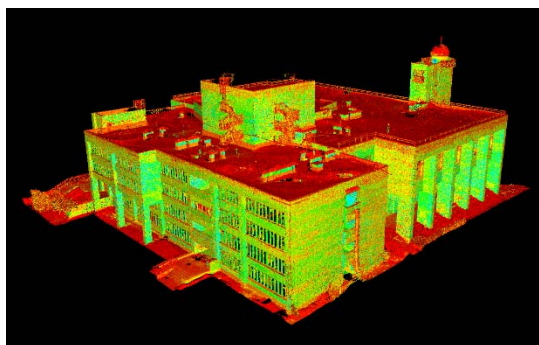


Рис. 5. Модель здания, полученная на основании облака точек⁵



Рис. 6. Тепловизионное обследование конструкций⁶

Использование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга зданий и сооружений, а также создание 3D-модели объекта для проведения дальнейшего обследования, описано в работах [11, 27-30]. Использование беспилотных летательных аппаратов, имеющих небольшие габариты, не требует наличия специализированных взлетных площадок, что позволяет производить съемку в условиях городской местности. Также одним из главных достоинств данного метода является то, что для эксплуатации БПЛА не требуется высокая квалификация. Беспилотные аппараты полезны в труднодоступных и опасных местах для человека местах. Например, если необходимо оценить повреждения после пожара внутри здания, дроны будут очень полезны, ведь в любой момент сама конструкция и ее элементы могут обрушиться [11].

Выводы

Процесс роботизации в различных сферах строительства позволяет увеличить скорость и повысить качество проведения различных строительных работ, а также уменьшить количество присутствующих людей на строительной площадке, что положительно влияет на безопасность и стоимость данных работ.

Использование роботов для обследования зданий и сооружений является крайне перспективным. Роботы позволяют проводить весь спектр работ, уменьшить риск нанесения вреда здоровью людей, уменьшить время и увеличить точность проведения работ, а также обследовать труднодоступные для человека конструкции и части зданий и сооружений.

Основными векторами развития данного метода являются разработка программного обеспечения, алгоритмов для увеличения точности проводимых исследований, уменьшение их размеров с целью повышения мобильности, снижение стоимости, что приведет к повышению доступности и спроса роботов.

Внедрение роботов направлено на снижение ручного труда, повышение качества и точности проводимых работ, на исключение ошибок человеческого фактора, а также на повышение прибыли. Но, к сожалению, в данный момент экономика России не позволяет массово использовать роботов в строительстве, и поэтому выгоднее использовать ручной труд. В связи с этим требуются дальнейшие исследования по поиску способов уменьшения стоимости

⁵ Обмер здания Дворца творчества в г. Кириши с целью проектирования навесного вентилируемого фасада [Электронный ресурс]. – URL: <https://trimetari.com/ru/proekty/arhitektura/obmer-zdaniya-kirishi-dlya-proektirovaniya-navesnogo-ventiliruемого-fasada> (дата обращения: 18.04.2022)

⁶ Тепловизионное обследование конструкций [Электронный ресурс]. – URL: <https://stroytehexpert.ru/teplovizionnoe-obsledovanie/teplovizionnoe-obsledovanie-konstrukcij.html> (дата обращения: 19.04.2022)

роботов, которые сделают их более доступными и привлекательными для использования. Отдельное внимание стоит обратить на внедрение в учебный процесс колледжей и вузов практических занятий по формированию у будущих специалистов знаний, умений и навыков по работе с роботизированной техникой и беспилотными летательными аппаратами.

Библиографический список

1. Румянцева В.Е., Гоглев И.Н., Логинова С.А. Применение полевых и лабораторных методов определения карбонизации, хлоридной и сульфатной коррозии при обследовании строительных конструкций зданий и сооружений // Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 15 (67). С. 51-58.
2. Кнышова Т.В., Кнышов К.И. Методы технического обследования бетонных и железобетонных зданий и сооружений // Матрица научного познания. 2019. № 4. С. 59-64.
3. Новоселова И.В., Денисенко Ю.С., Гагиева З.И., Питык А.Н. Применение методов неразрушающего контроля при обследовании зданий в рамках строительно-технической экспертизы // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1 (52). С. 109.
4. Скляренко А.В., Виноградова Е.В. Анализ современных методов и средств неразрушающего контроля конструкций при обследовании зданий и сооружений // Наукосфера. 2021. № 12-2. С. 211-214.
5. Кавелин А.С., Тютина А.Д., Нуриев В.Э., Колотиенко М.А. Использование тепловизионного метода для обследования зданий и сооружений: обзор // Инженерный вестник Дона. 2019. № 6 (57). С. 3.
6. Tsareva O., Portnov F. Improving the methodology for observing deformations of buildings and structures // В сборнике: E3S Web of Conferences. 2018 International Science Conference on Business Technologies for Sustainable Urban Development, SPbWOSCE 2018. 2019. С. 01056.
7. Салов А.С., Гайнанова Э.С. Особенности мониторинга и проведения обследования теплотехнического состояния строительных конструкций // Вестник евразийской науки. 2019. Т. 11. № 1. С. 54.
8. Воскресенский М.Н., Парыгин Г.И., Сенина Т.Е., Сенин Л.Н. Обследование здания ИГФ УРО РАН с применением метода HVSR // В сборнике: Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Материалы всероссийской конференции с международным участием. Екатеринбург, 2019. С. 85-90.
9. Соргутов И.В. Обследование оснований и фундаментов при помощи методов сейсморазведки // Системные технологии. 2021. № 4 (41). С. 86-89. DOI: 10.55287/22275398_2021_4_86
10. Лаборов В.А., Гамаюнова О.С. Робототехника и BIM-технологии в строительстве // Инженерные исследования. 2021. № 5 (5). С. 15-22. EDN FDKMVM
11. Шашков А.Ф., Олехнович Я.А. Мониторинг зданий и сооружений с использованием беспилотных летательных аппаратов // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 97-99.
12. Mark C. Tatum, Junshan Liu Unmanned aircraft system applications in construction // Procedia Engineering. 2017. № 196. С. 167-175.
13. Алексеева О.А., Алфёров Н.А., Созонов П.С. Возможности лазерного сканирования и фотограмметрии // Молодая наука Сибири. 2020. № 4 (10). С. 165-170.
14. Баденко В., Зотов К., Зотов Д., Гарг Р.Д., Жан Ли., Болсуновская М., Федотов А. Обзор технологии лазерного сканирования для исторического информационного моделирования зданий и сооружений в Санкт-Петербурге // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 1 (52). С. 93-101. DOI: 10.18720/CUBS.52.8.

15. Badenko V., Fedotov A., Zotov D., Lytkin S., Volgin D., Garg R.D., Min L. Scan-to-BIM methodology adapted for different application // В сборнике: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives. 2019. С. 1-7.
16. Сударь О.Ю., Улыбин А.В., Кукушкина Г.А. Обзор существующих нормативов це-нообразования по техническому обследованию зданий и сооружений // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 5 (44). С. 72-89.
17. Сударь О.Ю., Улыбин А.В., Кукушкина Г.А. Расчёт стоимости работ по обследо-ванию зданий и сооружений по трудозатратам // Строительство уникальных зданий и сооруже-ний. 2016. № 5 (44). С. 58-71.
18. Малянова Л.И., Сергеева М.А. Методы предварительного обследования конструк-ций зданий и сооружений // Тенденции развития науки и образования. 2019. № 55-1. С. 64-67. DOI: 10.18411/lj-10-2019-13.
19. Максименко Л.А. Современные методы мониторинга технического состояния зда-ния // ИТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. 2015. Т.1 № 1. С. 200-203.
20. Коренев В.В., Орлова Н.С., Улыбин А.В., Федотов С.Д. Строительный контроль зданий и сооружений с применением мультикоптеров и фотограмметрии // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 2 (65). С. 40-58. DOI: 10.18720/CUBS.65.3.
21. Шагина Е.С. Роботизация как метод повышения безопасности строительного произ-водства // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 6(21). С. 128-147.
22. Загитдинова Т.В., Калошина С.В. Автоматизация в строительстве // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2016. Т. 1. С. 258-265.
23. Оленьков В.Д., Попов Д.С. Автоматизация диагностики технического состояния зданий и сооружений в процессе их эксплуатации // Вестник Южно-Уральского государст-венного университета. Серия: строительство и архитектура. 2012. № 17(276). С. 82-85.
24. Побегайлов О.А., Кравченко И.В., Кожуховский С.О. Мобильные роботы верти-кального перемещения // Инженерный вестник Дона. 2010. № 4(14). С. 85-95.
25. Гладких А.А., Супрун Е.А. Обследование труднодоступных участков зданий и со-оружений с помощью роботов // AlfaBild. 2017. № 1(1). С. 27-35.
26. Салов А.С., Гайнанова Э.С. Особенности мониторинга и проведения обследования теплотехнического состояния строительных конструкций // Вестник Евразийской науки. 2019. №1.
27. Табаченко А.А., Олехнович Я.А. Обработка плотного облака точек при геоинфор-мационном моделировании зданий и сооружений промышленного и гражданского строи-тельства // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического уни-верситета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 67-70.
28. Шуршилин Е.А., Олехнович Я.А. Геоинформационные системы в строительстве и анализ точности измерений // Строительство и техногенная безопасность. 2021. № 23 (75). С. 49-58.
29. Использование современного оборудования для проведения геодезических съемок и наблюдений за деформациями / Е. Б. Михаленко, Н. Д. Беляев, А. А. Кузин [и др.]. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2018. – 122 с. EDN XZYFXF.
30. Корнилов Ю.Н., Царёва О.С. Совершенствование методики наблюдений за дефор-мациями зданий и сооружений // Геодезия и картография. 2020. Т. 81. № 4. С. 9-18.

References

1. Rumyantseva V.E., Goglev I.N., Loginova S.A. Application of field and laboratory methods for determining carbonization, chloride and sulfate corrosion in the inspection of building structures of buildings and structures // *Construction and technogenic safety*. 2019. No. 15 (67). Pp. 51-58.2.
2. Knyshova T.V., Knyshov K.I. Methods of technical inspection of concrete and reinforced concrete buildings and structures // *Matrix of scientific knowledge*. 2019. No. 4. P. 59-64.
3. Novoselova I.V., Denisenko Yu.S., Gagiya Z.I., Pityk A.N. Application of non-destructive testing methods in the survey of buildings within the framework of construction and technical expertise // *Engineering Bulletin of the Don*. 2019. No. 1 (52). P. 109.
4. Sklyarenko A.V., Vinogradova E.V. Analysis of modern methods and means of non-destructive testing of structures during the inspection of buildings and structures // *Naukosphere*. 2021. No. 12-2. Pp. 211-214.
5. Kavelin A.S., Tyutina A.D., Nuriev V.E., Kolotienko M.A. Using the thermal imaging method for surveying buildings and structures: a review // *Inzhenerny Bulletin of the Don*. 2019. No. 6 (57). P. 3.
6. Tsareva O., Portnov F. Improving the methodology for observing deformations of buildings and structures // *E3S Web of Conferences*. 2018 International Science Conference on Business Technologies for Sustainable Urban Development, SPbWOSCE 2018. 2019. P. 01056.
7. Salov A.S., Gainanova E.S. Peculiarities of monitoring and examination of the thermal condition of building structures // *Bulletin of the Eurasian Science*. 2019. V. 11. No. 1. P. 54.
8. Voskresensky M.N., Parygin G.I., Senina T.E., Senin L.N. Inspection of the building of the IGP UB RAS using the HVSR method // In: *Deep structure, geodynamics, thermal field of the Earth, interpretation of geophysical fields. Materials of the All-Russian conference with international participation*. Yekaterinburg, 2019. P. 85-90.
9. Sorgutov I.V. Inspection of bases and foundations using seismic methods // *System Technologies*. 2021. No. 4 (41). Pp. 86-89. DOI: 10.55287/22275398_2021_4_86.
10. Laborov V.A., Gamayunova O.S. Robotics and BIM-technologies in construction // *Engineering research*. 2021. No. 5 (5). Pp. 15-22. EDN FDKMVM.
11. Shashkov A.F., Olekhovich Ya.A. Monitoring of buildings and structures using unmanned aerial vehicles // In: *ISI Science Week. Materials of the All-Russian conference in 3 parts*. Civil Engineering Institute of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. St. Petersburg, 2021, Pp. 97-99.
12. Mark C. Tatuma, Junshan Liu Unmanned aircraft system applications in construction // *Procedia Engineering*. 2017. № 196. P. 167-175.
13. Alekseeva O.A., Alferov N.A., Sozonov P.S. Possibilities of laser scanning and photogrammetry // *Young science of Siberia*. 2020. No. 4 (10). Pp. 165-170.
14. Badenko V., Zotov K., Zotov D., Garg R.D., Zhan Li., Bolsunovskaya M., Fedotov A. Overview of laser scanning technology for historical information modeling of buildings and structures in St. Petersburg // *Construction of unique buildings and structures*. 2017. No. 1 (52). Pp. 93-101. DOI: 10.18720/CUBS.52.8.
15. Badenko V., Fedotov A., Zotov D., Lytkin S., Volgin D., Garg R.D., Min L. Scan-to-BIM methodology adapted for different application // In: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*. 2019. P. 1-7.
16. Sudar O.Yu., Ulybin A.V., Kukushkina G.A. Review of existing pricing standards for technical inspection of buildings and structures // *Construction of unique buildings and structures*. 2016. No. 5 (44). Pp. 72-89.
17. Sudar O.Yu., Ulybin A.V., Kukushkina G.A. Calculation of the cost of work on the inspection of buildings and structures by labor costs // *Construction of unique buildings and structures*. 2016. No. 5 (44). Pp. 58-71.

18. Malyanova L.I., Sergeeva M.A. Methods of preliminary inspection of structures of buildings and structures // Trends in the development of science and education. 2019. No. 55-1. Pp. 64-67. DOI: 10.18411/lj-10-2019-13.
19. Maksimenko L.A. Modern methods of monitoring the technical condition of a building // ITEREXPO GEO-SIBERIA. 2015. V.1 No. 1. P. 200-203.
20. Korenev V.V., Orlova N.S., Ulybin A.V., Fedotov S.D. Construction control of buildings and structures using multicopters and photogrammetry // Construction of unique buildings and structures. 2018. No. 2 (65). Pp. 40-58. DOI: 10.18720/CUBS.65.3.
21. Shagina E.S. Robotization as a method of improving the safety of construction production // Construction of unique buildings and structures. 2014. No. 6(21). Pp. 128-147.
22. Zagitdinova T.V., Kaloshina S.V. Automation in construction // Modern technologies in construction. Theory and practice. 2016. V. 1. P. 258-265.
23. Olenkov V.D., Popov D.S. Automation of diagnostics of the technical condition of buildings and structures during their operation // Bulletin of the South Ural State University. Series: construction and architecture. 2012. No. 17(276). Pp. 82-85.
24. Pobegailov O.A., Kravchenko I.V., Kozhukhovskiy S.O. Mobile robots of vertical movement // Engineering Bulletin of the Don. 2010. No. 4(14). pp. 85-95.
25. Gladkikh A.A., Suprun E.A. Inspection of hard-to-reach areas of buildings and structures with the help of robots // AlfaBild. 2017. No. 1(1). Pp. 27-35.
26. Salov A.S., Gainanova E.S. Peculiarities of monitoring and survey of the thermal condition of building structures. Bulletin of the Eurasian Science. 2019. No. 1.
27. Tabachenko A.A., Olekhovich Ya.A. Processing of a dense point cloud in geoinformation modeling of buildings and structures of industrial and civil construction // In: ISI Science Week. Materials of the All-Russian conference in 3 parts. Civil Engineering Institute of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. St. Petersburg, 2021, Pp. 67-70.
28. Shurshilin E.A., Olekhovich Ya.A. Geoinformation systems in construction and analysis of measurement accuracy // Construction and technogenic safety. 2021. No. 23 (75). pp. 49-58.
29. The use of modern equipment for geodetic surveys and deformation observations / E. B. Mikhaleiko, N. D. Belyaev, A. A. Kuzin [and others]. - St. Petersburg: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University", 2018. - 122 p. – EDN XZYFXF.
30. Kornilov Yu.N., Tsareva O.S. Improving the methodology for observing deformations of buildings and structures // Geodesy and Cartography. 2020. V. 81. No. 4. Pp. 9-18.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЭКОЛОГИЧЕСКИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ

УДК 625.20

Воронежский государственный

технический университет

Канд. техн. наук, доцент

А.В. Еремин;

Россия, г. Воронеж, тел. +7-910-346-95-87

e-mail: bora.av@mail.ru

Воронежский государственный

технический университет

Студент 4 курса Дорожно-транспортного

факультета Ф.М. Абрамов

Россия, г. Воронеж, тел. +7(950) 754-81-44

e-mail: fabramov2001@mail.ru

Воронежский государственный

технический университет

Студент 4 курса Дорожно-транспортного

факультета Е.В. Корнилов

Россия, г. Воронеж, тел. +7(919) 247-75-25

e-mail: jenya8885@gmail.com

Voronezh State

Technical University

Cand. of Tech. Science, Associate prof.

A.V. Eremin;

Russia, Voronezh, tel. +7-910-346-95-87

e-mail: bora.av@mail.ru

Voronezh State

Technical University

Fourth year student of the Faculty of Roads

and Transport F.M. Abramov

Russia, Voronezh, tel. +7(950) 754-81-44

e-mail: fabramov2001@mail.ru

Voronezh State

Technical University

Fourth year student of the Faculty of Roads

and Transport E.V. Kornilov

Russia, Voronezh, tel. +7(919) 247-75-25

e-mail: jenya8885@gmail.com

А.В. Еремин, Ф.М. Абрамов, Е.В. Корнилов

АНАЛИЗ ПРОТЯЖЕННОСТИ ТОРМОЗНОГО ПУТИ ЛЕТНИХ И ЗИМНИХ ШИН ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ И РАЗЛИЧНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

В статье приведены результаты испытаний различных видов шин при различных погодных условиях и качестве дороги с целью определения протяженности тормозного пути автомобиля в холодное время года.

Ключевые слова: автомобильная шина; летняя резина; зимняя шипованная резина; зимняя нешипованная резина; длина тормозного пути.

A.V. Eremin, F.M. Abramov, E.V. Kornilov

ANALYSIS OF THE BRAKING DISTANCE OF SUMMER AND WINTER TIRES UNDER NEGATIVE TEMPERATURES AND DIFFERENT WEATHER CONDITIONS

The article presents the results of testing various types of tires under various weather conditions and road quality in order to determine the length of the braking distance of a car in the cold season.

Keywords: car tire; summer tires; winter studded tires; winter non-studded tires; stopping distance.

Ежегодно у автомобилистов возникает вопрос о переходе с летней шины на зимнюю в холодное время года. Он должен осуществляться, при достижении среднесуточной температуры отметки ниже 7 °С.

Существует 2 вида зимней шины:

1) Шипованная шина.

Она оснащена специальными шипами, обеспечивающими лучшее сцепление с дорогой и более эффективное торможение в условиях гололедицы и обледенелого снега. Из недостатков новая шипованная резина требует обкатки (порядка 1000 км), имеют более высокий уровень шума, по сравнению с фрикционной резиной, а так же они разрушают асфальтобетонное покрытие. Так учёные пришли к выводу, что один легковой автомобиль изнашивает за 1 км порядка 24 г материала покрытия, а износ одним шипом составляет около 100 мкг.

2) Фрикционная шина.

Шина цепляется за лед крошками, образовавшимися вследствие множественных локальных разрезов в протекторе — ламелям. Минус фрикционных шин: при температуре воздуха около нуля устойчивость на льду и гололедице снижается.

Проведем испытания летних (рис. 1а), зимних шипованных (рис. 1б) и зимних фрикционных шин (рис. 1в):

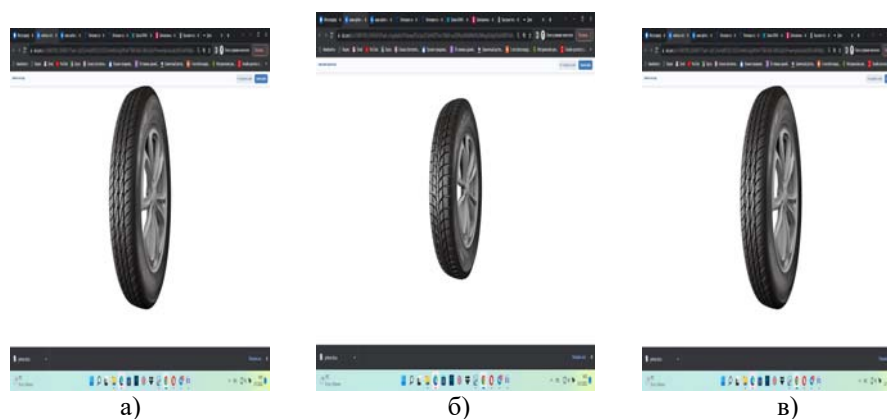


Рис. 1. Шины, использованные при проведении испытаний

Испытуемый автомобиль: ВАЗ 2107 «Жигули» (ABS-отсутствует).

Для измерения тормозного пути был использован сертифицированный и прошедший метрологические поверки прибор «RaceLogic».

На каждом виде шин проводим три замера. Результатом служит среднее арифметическое трех испытаний.

Таблица 1

Технические характеристики шин

Сравнительная характеристика	КАМА-365 (НК-241) лето 175/70 R13 (летняя)	КАМА-505 ИРБИС 175/70/ R13 (зимняя шипуемая)	КАМА-365 175/70/ R13 (зимняя нешипуемая)
Ширина профиля	175	175	175
Высота профиля	70	70	70
Категория (индекс)	13	13	13
Тип рисунка протектора	асимметричный не- направленный	симметричный на- правленный	асимметричный не- направленный

Измерения показали, что тормозной путь у шипованных и нешипованных шин различается на десятки см, то есть, в пределах погрешности измерений.

Летняя шина в тесте на сухом асфальте (рис.2) показала результат лучше, чем зимние варианты. Связано это с тем, что покрытие было сухое, без влаги и льда. Так же температура, равная 0 °С не дала резиновой смеси летней резины полностью потерять своих сцепных свойств с покрытием.



Рис. 2. Проведение испытаний на сухом асфальте

♦ Торможение на снежном покрытии (рис. 3)



Рис. 3. Проведение испытаний на дороге со снежным покрытием

На снежном покрытии при -3°С фрикционные и шипованные шины показали приблизительно одинаковые результаты. Летние шины же показали в этих условиях худший результат: состав резины и отсутствие средств зацепа привели к такому результату.

♦ Торможение на льду (рис. 4)



Рис. 4. Проведение испытаний на дороге с ледовым покрытием

При -5°C фрикционные шины проигрывают на 20-30% относительно шипованных. Связано это с тем, что шипы лучше вгрызаются в поверхность льда, чем ламели на фрикционных шинах. Состав резины и отсутствие шипов или ламелей привёл к такому большому тормозному пути.

Таблица 2

Результаты испытаний

Шина	Тип покрытия дороги	Температура воздуха, °C	Скорость автомобиля, км/ч	Средняя длина тормозного пути, м
КАМА-365 (НК-241) лето 175/70 R13	сухой асфальт	0	60	151.6
	снег	-3		62.7
	лед	-5		36.3
КАМА-505 ИР-БИС 175/70/ R13	сухой асфальт	0	60	38.1
	снег	-3		44.3
	лед	-5		71.3
КАМА-365 175/70/ R13	сухой асфальт	0	60	37.3
	снег	-3		44.8
	лед	-5		87.7

Вывод: в наших испытаниях лучше всех показали себя зимние шипованные шины. Они более универсальны и не так зависят от разных температур, в отличие от фрикционных шин. Последние подойдут для использования в мегаполисах, где практически не встречается укатанный снег и ледяная корка на дорожном покрытии. Шипованные шины подходят для абсолютно всех погодных условий в холодное время года.

Обязательно следует обратить внимание на факт, что в холодное время года следует отказаться от летних шин ради своей безопасности и других участников дорожного движения.

Библиографический список

1. Мишин С., Тестов Д. Шипы или липучки. За рулем. -2017. -№10. -С. 68-74.
2. [Электронный ресурс] - <https://shina-kama.ru/>.
3. [Электронный ресурс] - <https://racelogic.co.uk/>.

References

1. Mishin S., Testov D. Spikes or velcro. Za Rulem. -2017. -№10. -P. 68-74.
2. [Electronic resource] - <https://shina-kama.ru/>.
3. [Electronic resource] - <https://racelogic.co.uk/>.

УДК 691.878

*Воронежский государственный
технический университет*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строитель-
ной техники и инженерной механики
С.А. Никитин,*

*Канд. техн. наук, доц. кафедры строи-
тельной техники и инженерной механики
А.Н. Щиенко*

*Воронежский государственный
промышленно-технологический колледж*

*Канд. пед. наук, преподаватель общепро-
фессиональных дисциплин О.Е. Наумов*

*Преподаватель общепрофессиональных
дисциплин О.М. Снегирева*

Россия, г. Воронеж, тел. +79507592627

e-mail: onaumo@yandex.ru

*Voronezh State
Technical University*

*Kand. Tehn. Sciencs, assistant professor of the
chair of building technique and mechanics en-
gineering S.A. Nikitin*

*Kand. Tehn. Sciencs, assistant professor of the
chair of building technique and mechanics en-
gineering A.N. Shchyenko*

*Voronezh State
Industrial and Technological College*

*Ph.D. in Pedagogy sciences, teacher of general
professional disciplines O.E. Naumov*

*Teacher of general professional disciplines
O.M. Snegireva*

Russia, Voronezh, tel. +79507592627

e-mail: onaumo@yandex.ru

С.А. Никитин, А.Н. Щиенко, О.Е. Наумов, О.М. Снегирева

МЕТОДИКА АНАЛИТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ШУМА В КАБИНЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

В данной статье предлагается методика аналитической оценки уровня шума в кабине технологической машины. Опираясь на схему распространения звука в кабине технологической машины, проводится аналитический расчет поглощения звука со звукопоглощающим материалом в кабине оператора и без звукопоглощающего материала.

Ключевые слова: звукозащитная оператора, технологические машины, звуковая мощность, звукоизоляционный материал.

S.A. Nikitin, A.N. Shchyenko, O.E. Naumov, O.M. Snegireva

ANALYTICAL EVALUATION OF CABIN NOISE PROCESS MACHINE

This article proposes a method for analytical assessment of the noise level in the process machine cabin. Based on the sound propagation scheme in the cockpit of the process machine, an analytical calculation of sound absorption with sound absorbing material in the operator's cabin and without sound absorbing material is carried out.

Keywords: sound protection operator, process machines, sound power, sound insulation material.

Источники звука дорожно-строительных машин работают на различных режимах, а, следовательно, излучаемый шум имеет стохастический характер. Поэтому расчеты выполняются при допущениях, обусловленных, в первую очередь, неучетом волновой природы звука в диапазоне частот 63...8000Гц.

В расчетах принимается акустическая мощность источника функцией от частоты или используются значения эквивалентной звуковой мощности.

Реальные источники звука - колебательные системы сложной формы. Расчет таких излучателей затруднен, поэтому все источники звука принимаются идеализированными излучателями звука простой формы (точечными, линейными, плоскими) или набором из таких излучателей. В расчетах принимается условие, что если источники расположены на расстоянии $R > \lambda / 6$, то они некогерентны. При этом суммарный уровень звука источников определяется энергетическим суммированием [1, 2]

$$L_{\text{общ}} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0.1L_i}, \quad (1)$$

где $L_{\text{общ}}$ – суммарный уровень звука, дБА;

n – число источников звука;

L_i – уровень звука i -го источника шума, дБА.

Уровень звуковой мощности источника является основной акустической характеристикой, используемой при расчетах. Акустическая мощность, W источника не зависит от параметров объекта и характеризует только этот источник, то есть все акустические расчеты выполняются в предположении, что $W = \text{const}$.

Анализ литературных источников показывает, что источники звука являются излучателями сферических, цилиндрических или плоских волн в зависимости от размера излучателя, длины звуковой волны и расстояния от источника до расчетной точки. При этом элементы шумозащитных конструкций (ребра акустического экрана, проемы, щели, отверстия, стенки капота и т.п.) принимаются в качестве вторичных излучателей звука. Наличие резонансных явлений расчетами не учитываются. Граница частоты f_n , с которой начинается расчет, определяется выражением

$$f_n = \frac{200}{\sqrt[3]{V}}, \quad (2)$$

где f_n – частота начальных колебаний расчетного объема, Гц;

V – расчетный объем кабины, м^3 .

Из выражения (2) следует, что для малых объемов (в том числе и кабин операторов специальных дорожно-строительных машин), где $V = 3 \dots 5 \text{ м}^3$ возможны расчеты ожидаемой шумности с октавной полосы 250 Гц [8,66].

Для составления итоговой формулы, определяющей уровень звука в кабине шнекороторной снегоочистительной машины, была составлена схема распространения акустической энергии, представленная на рисунке 1.1

Шум в кабине технологических машин шнекороторных снегоочистительных в основном формируется:

1. Шумом двигателя, проникающим через капот и стенки кабины
2. Шумами двигателя, коробки передач, мостов, раздаточного редуктора, отраженным от поверхности и проникающим через пол кабины.
3. Шумом выхлопа двигателя внутреннего сгорания.
4. Шумами коробки передач и раздаточного редуктора, расположенных под кабиной машины.
5. Шумом переднего моста.
6. Шумом, возникающим на рабочем органе при выполнении технологических операций.

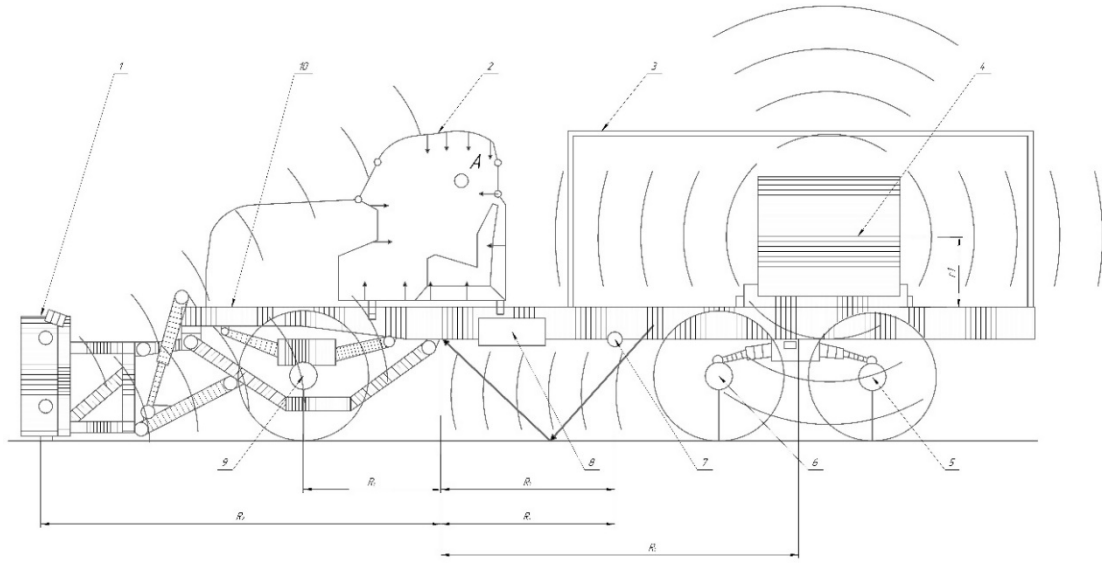


Рис. 1. Схема распространения акустической энергии в технологической машине

Значение уровня звука в кабине L_1 , дБ, образованного шумом, проникающим от двигателя через его капот, определяется выражением

$$L_1 = L_{\text{шддв}} + 10 \lg \left(\frac{\chi_{\text{кан}}}{S_{\text{кан.общ}}} + \frac{4\psi_{\text{кан}}}{B_{\text{каб}}} \right) + 10 \lg \frac{\sum_{i=1}^n S_{\text{кан } i}}{S_{\text{кан}}} - 10 \lg \frac{\sum_{i=1}^m S_{\text{кан } i}}{\sum_{i=1}^m S_{\text{кан } i} 10^{-0,1(3I_{\text{кан.}i} + t_{\text{кан}})}} -$$

$$- 10 \lg \frac{\sum_{i=1}^m S_{\text{кан } i}}{\sum_{i=1}^m S_{\text{кан } i} 10^{-0,1(3I_{\text{кан.}i} + t_{\text{каб}}^{\text{каб}})}} + 10 \lg \frac{\sum_{i=1}^n S_{\text{каб } i}}{A_{\text{каб}}} + 6 \text{ дБ} \quad (3)$$

где a_i – постоянные коэффициенты, подлежащие определению;

$L_{\text{шддв}}$ – звуковая мощность двигателя, дБ (берется из справочных данных);

$\chi_{\text{кан}}$ – коэффициент, учитывающий влияние ближнего звукового поля источника и равен 1;

$\psi_{\text{кан}}$ – коэффициент неравномерности звукового поля под капотом, принимаем $\psi_{\text{кан}} = 0,5$;

$B_{\text{каб}}$ – постоянная кабины, м^2 ;

$S_{\text{кан}}$ – площадь капота, м^2 ; $S_{\text{кан}} = 7,52 \text{ м}^2$;

$A_{\text{каб}}$ – эквивалентная площадь звукопоглощения кабины, м^2 .

$$A_{\text{каб}} = \overline{a_{\text{каб}}} S_{\text{каб}}, \quad (4)$$

где $\overline{a_{\text{каб}}}$ – средний коэффициент звукопоглощения кабины (экспериментально определенные значения для кабин операторов дорожно-строительных машин приведены в таблице),

n – число элементов ограждения кабины. Принимаем $n=6$.

$$\overline{3I_i^{\text{каб}}} = 10 \lg \frac{S_{\text{каб}}}{\sum_{j=1}^m S_j \cdot 10^{0,13I_j}}, \quad (5)$$

где $\overline{3I_i^{\text{каб}}}$ – усредненная звукоизоляция i -й ограждающей конструкции кабины, дБ;

$3I_j$ – звукоизоляция, дБ, j -го элемента ограждения площадью S_j , м^2 ;

m – число элементов ограждения с различной звукоизоляцией на i -й ограждающей конструкции.

Таблица

Средние значения коэффициента звукопоглощения, $\overline{\alpha}_{\text{каб}}$ кабин операторов дорожных машин

Значение $\overline{\alpha}_{\text{каб}}$ в октавных полосах частот	Частота f, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Без звукопоглощения	0,05	0,08	0,15	0,2	0,2	0,15	0,2	0,4
Со звукопоглощением	0,1	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,6

Для частоты $f \leq f_{\text{гр}}$, звукоизоляцию определяем по формуле

$$3И = 20 \cdot \lg(Mf) - 60, \text{ Дб}, \quad (6)$$

$$M = p_m \cdot h_m + p_n \cdot h_n + p_o \cdot h_o, \quad (7)$$

где p_m, h_m – удельный вес и толщина основного материала соответственно;

p_n, h_n – то же наносимого покрытия;

p_o, h_o – то же внутренней облицовки;

f – октавная частота, Гц.

Для значений $f > 0,5f_{\text{гр}}$ звукоизоляция определяется следующим образом

$$3И = 20 \lg \left(\frac{\pi f M}{p c} \right) + 5 \lg \frac{f}{f_{\text{гр}}} + L \eta + 3, \quad (8)$$

где η – коэффициент потерь, характеризующий внутренние потери в ограждении (принимается $\eta = 0,25$).

Граничная частота для стекла толщиной 3 мм, $f_{\text{гр}} = 3354$ Гц. Для стен - $f_{\text{гр}} = 136$ Гц.

Производим расчет уровня звука в октавных полосах частот. Уровни звука в кабине определяем методом энергетического суммирования с коррекцией по шкале А.

В результате вычислений $L_1 = 77,2$ дБА.

Значение уровня звука в кабине, образованного при отражении звука двигателя, коробки передач, раздаточного редуктора, мостов от поверхности движения определяются выражением

$$L_2 = L_{\text{вдкнр}} + 10 \lg \left(\frac{\chi_{\text{кан}}}{2\pi r_1^2} + \frac{4\psi_{\text{кан}}}{B_{\text{каб}}} \right) + 10 \lg(1 - \alpha_{\text{пол}}) - 20 \lg R_5 - 3И_{\text{пол}} + 10 \lg \frac{S_{\text{каб}}}{A_{\text{каб}}} - 10, \text{ дБ}, \quad (9)$$

где $L_{\text{вдкнр}}$ – уровень звуковой мощности источников, дБ;

r_1 – расстояние от источника шума до проема в капоте, $r_1 = 0,8$ м;

$\alpha_{\text{пол}}$ – коэффициент звукопоглощения отражающей поверхности (принимается $\alpha_{\text{пол}} = 0,05$);

R_5 – расстояние между центром проема и пола соответственно. $R_5 = 2,75$ м;

$3И_{\text{пол}}$ – средняя звукоизоляция пола кабины, дБ;

$S_{\text{каб}}$ – площадь кабины, м^2 . В нашем случае $S_{\text{каб}} = 4,39 \text{ м}^2$.

$$L_2 = L_{\text{вдкнр}} + 10 \lg \left(\frac{\chi_{\text{кан}}}{2\pi r_1^2} + \frac{4\psi_{\text{кан}}}{B_{\text{каб}}} \right) + 10 \lg(1 - \alpha_{\text{пол}}) - 20 \lg R_5 - 3И_{\text{пол}} + 10 \lg \frac{S_{\text{каб}}}{A_{\text{каб}}} - 10, \text{ дБ}, \quad (9)$$

$$B_n = \frac{\sum \alpha_i^f S_i}{(1 - \bar{\alpha}_n^f)}, \quad \text{м}^2, \quad (10)$$

$$\bar{\alpha}_n^f = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i^f S_i}{S_n}, \quad (11)$$

где α_i^f – частотно-зависимый коэффициент звукопоглощения i -й ограждающей конструкции $S_i, \text{м}^2$;
 $\bar{\alpha}_n^f$ – частотно-зависимый коэффициент звукопоглощения в помещении;
 $S_{ном}$ – суммарная площадь ограждающих поверхностей кабины, м^2 .

В результате расчетов $L_2 = 73,4$ дБА.

Значения уровней звука в кабине, образованных шумом выхлопа двигателя внутреннего сгорания, определяются выражением

$$L_3 = L_{w_{вых}} + 10 \lg \sum_{i=1}^m 10^{0.1(3II_i^{каб} + 10 \lg \beta_i)} - 20 \lg R_4 + 10 \lg \frac{S_{каб}}{A_{каб}} - 10 \lg \Omega_{вых} + 6, \quad (12)$$

где $L_{w_{вых}}$ – звуковая мощность выхлопа двигателя внутреннего сгорания, дБ;
 R_4 – расстояние от среза выхлопной трубы до близкорасположенной поверхности ($R_4 = 0,8$ м);
 $\Omega_{вых}$ – пространственный угол излучения звука источником. Принимаем $\Omega_{вых} = 4\pi$.

В результате расчета $L_3 = 68,5$ дБА.

Значения уровней звука в кабине, образованных шумом коробки передач и раздаточного редуктора, расположенных под кабиной шнекороторной снегоочистительной машины и проникающем через пол кабины, определяются выражением

$$L_4 = L_{w_{кк.ред}} - 10 \lg R_3 - 3II_{пол} + 10 \lg \frac{S_{пол}}{A_{каб}} - 5, \quad (13)$$

где $L_{w_{кк.ред}}$ – звуковая мощность, излучаемая коробкой передач, раздаточным редуктором, расположенными под кабиной, дБ;
 R_3 – расстояние от коробки передач и редуктора пола. $R_3 = 0,25$ м;
 $3II_{пол}$ – средняя звукоизоляция пола кабины, дБ.

В результате расчетов $L_4 = 72,6$ дБА.

Уровень звука в кабине, образованный шумом привода переднего моста, определяется выражением

$$L_5 = L_{w_{мнм}} + 10 \lg \sum_{i=1}^m 10^{0.1(3II_i^{каб} + 10 \lg \beta_i)} - 20 \lg R_1 + 10 \lg \frac{S_{каб}}{A_{каб}} - 10 \lg \Omega_{мнм} + 6, \quad (14)$$

где $L_{w_{мнм}}$ – звуковая мощность привода переднего моста;
 R_1 – расстояние от источника шума до близкорасположенной поверхности ($R_1 = 1,15$ м)

В результате расчетов $L_5 = 67,3$ дБА.

Значение уровня звука в кабине, образованного шумом при взаимодействии рабочего органа со снегом, определяются выражением

$$L_6 = L_{w_{раб.орг}} + 10 \lg \sum_{i=1}^m 10^{0.1(3II_i^{каб} + 10 \lg \beta_i)} - 20 \lg R_2 + 10 \lg \frac{S_{каб}}{A_{каб}} - 10 \lg \Omega_{раб.орг} + 6, \quad (15)$$

где $L_{w_{раб.орг}}$ – звуковая мощность на рабочем органе, дБ;
 $3II_{каб}$ – усредненная звукоизоляция i -й ограждающей конструкции кабины, дБ;
 β_i – коэффициент дифракции звука на i -й ограждающей конструкции кабины;
 R_2 – расстояние от рабочего органа до близкорасположенной поверхности ($R_2 = 1,95$ м);
 $S_{каб}$ – площадь кабины, м^2 . $S_{каб} = 4,39 \text{ м}^2$;
 $A_{каб}$ – эквивалентная площадь звукопоглощения кабины, м^2 ;
 $\Omega_{раб.орг}$ – пространственный угол излучения звука источником (принимаем $\Omega_{раб.орг} = 2\pi$)

В результате вычислений $L_6 = 65,1$ дБА.

Вспользуемся выражением (16) и определим общий шум в кабине, $L_{общ.}$, дБА снегоочистительной машины шнекороторного типа

$$L_{общ} = 10 \lg (10^{0.1L_1} + 10^{0.1L_2} + 10^{0.1L_3} + 10^{0.1L_4} + 10^{0.1L_5} + 10^{0.1L_6}), \quad (15)$$

где L_1 – уровень шума двигателя, проникающий через капот и стенки кабины ($L_1 = 77,2$ дБА);

L_2 – уровень шума двигателя, коробки передач, мостов, раздаточного редуктора, отраженный от поверхности и проникающий через пол кабины ($L_2=73,4$ дБА);
 L_3 – уровень шума выхлопа двигателя внутреннего сгорания ($L_3=68,5$ дБА);
 L_4 – уровень шума коробки передач и раздаточного редуктора, расположенных под кабиной машины ($L_4=72,6$ дБА);
 L_5 – уровень шума привода переднего моста ($L_5=67,3$ дБА);
 L_6 – уровень шума возникающим на рабочем органе при выполнении технологических операций ($L_6=65,1$ дБА).

В результате логарифмического суммирования получаем общий уровень звука в кабине $L_{общ.} = 79,4$ дБА.

Выводы

1. Предложенная уточненная методика расчета шума технологической машины, позволяет прогнозировать уровни звукового давления и эквивалентные уровни звука в кабине, так как учитывает основные источники шума машины, пути распространения звуковой волны в зависимости от компоновочной схемы.
2. Расчетный уровень звука в кабине по уточненной методике составил 79,4 дБА, что на 3,9 дБА ниже действительного уровня шума.
3. Данная методика, с точки зрения снижения акустических характеристик в кабине дорожной машины, позволяет уточнить компоновку основных узлов и агрегатов, что особенно актуально на ранней стадии проектирования машины в целом.

Библиографический список

1. Устинов Ю.Ф., Волков Н.М., Дегтев Д.Н., Дуплищев С.М., Кравченко А.А., Никитин С.А., Покачалов А.С. Методология прогнозирования виброакустических параметров тяговых машин. Известия высших учебных заведений. Строительство. 2003. № 9. С. 121-124.
2. Никитин С.А. Шнекороторный снегоочиститель с улучшенными виброакустическими характеристиками. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Воронеж, 2004.
3. Устинов Ю.Ф., Муравьев В.А., Дегтев Д.Н., Муравьев А.В., Волков Н.М., Харламов А.Ю. Звукоподавляющая ячеистая панель. Патент на изобретение RUS 2239238 18.03.20с.
4. Дегтев Д.Н. Повышение эффективности виброакустической защиты колесных погрузчиков среднemoshного модельного ряда. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Воронеж, 2006.

References

1. Ustinov Y. F, N.M. Volkov, Degtev D.N, Duplishev S.M, A.A. Kravchenko, S.A. Nikitin, A.S. Pokachalov. Methodology for predicting vibro-acoustic parameters of traction machines. News of higher educational institutions. Construction. 2003. Number 9. S. 121-124.
2. S.A.Nikitin. Loader-mount snowblower with improved vibroacoustic characteristics. Dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Voronezh, 2004.
3. Ustinov Y.F., Muravyov V.A, Degtev D.N., Muravyov A.V., Volkov N.M., A. Kharlamov. Zvukopodavlyayushchaya mesh panel. A patent for an invention RUS 2239238 18.03.2003.
4. Degtev D.N. Improving the efficiency of vibro-acoustic protection of wheel loaders of the mid-range model range. Dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Voronezh, 2006.

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ, МАТЕРИАЛАХ И ИЗДЕЛИЯХ

УДК 625.8

*Воронежский государственный
технический университет
Аспирант кафедры строительства и
эксплуатация автомобильных дорог
А. Алишханов
Россия, г. Воронеж, тел. +7 (900) 957-21-96
электронная почта: alaaalaash@yahoo.com*

*Voronezh State
Technical University
PhD student of the department of road
construction and operation
A. Alshahwan
Russia, Voronezh, tel. +7 (900) 957-21-96
e-mail: alaaalaash@yahoo.com*

А. Алишханов

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕПЛОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА В УСЛОВИЯХ СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Применение теплых асфальтобетонных смесей имеет много преимуществ в качестве альтернативного варианта горячим битумоминеральным материалам в Сирийской Арабской Республике. Показана целесообразность и эффективность применения теплого модифицированного асфальтобетона для устройства дорожных покрытий в жарком и сухом климате путем представления результаты эксперимента по изучению влияния климатического старения на свойства теплого асфальтобетона в восточных регионах республики.

Ключевые слова: теплая асфальтобетонная смесь, теплый асфальтобетон, модификатор, Сирийская Арабская Республика, климатическое старение.

A. Alshahwan

INFLUENCE OF CLIMATIC AGING ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF WARM ASPHALT CONCRETE UNDER THE CONDITIONS OF THE SYRIAN ARAB REPUBLIC

The use of warm mix asphalt has many advantages as an alternative to hot bituminous materials in the Syrian Arab Republic. The expediency and efficiency of using warm modified asphalt concrete for paving in hot and dry climates is shown by presenting the results of an experiment to study the effect of climatic aging on the properties of warm asphalt concrete in the eastern regions of the republic.

Keywords: warm mix asphalt, warm asphalt concrete, modifier, Syrian Arab Republic, climatic aging.

Более 44% дорожной сети в Сирийской Арабской Республике (САР) была разрушена или частично повреждена во время военных действий или отсутствия работ по техническому обслуживанию в течение последних десяти лет [1, 2], что привело к многократному увеличению потребности в дорожно-строительных работах, связанных с восстановлением (ремонт или капитальный ремонт) существующих автомобильных дорог и строительством новых.

Недостаток энергии и топливных ресурсов, большой объем дорожных работ и экологические и экономические требования - все эти факторы повышают актуальность применения технологии теплого асфальтобетона (ТАБ) как альтернативы традиционному горячему асфальтобетону (ГАБ) в условиях САР.

Теплый асфальтобетон – это технический термин, используемый для описания асфальтобетона, производимый при температурах ниже традиционных ГАБ обычно на 20– 40 °С [3 - 5].

Тёплый асфальтобетон - наиболее эффективная технология устройства дорожных покрытий для условий Сирийской Арабской Республики, поскольку имеет множество преимуществ, и с её помощью может быть решено большинство проблем, с которыми сталкивается дорожная отрасль страны [7, 8].

Целью исследования является изучение прочностных свойств теплого асфальтобетона методом дисперсной полимерной модификации при нормальных, пониженных и повышенных температурах под влиянием климатического старения для использования в условиях Сирийской Арабской Республики.

Используемая в экспериментах асфальтобетонная смесь представляет собой асфальтобетонную смесь типа Б марки II.

В качестве полимерного модификатора использовался термоэластопласт резиновый РТЭП-М, соответствующий требованиям стандарта СТО 39952490-001-2020 «Термоэластопласт резиновый РТЭП-М. Технические условия». Его физико-механические свойства указаны в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства РТЭП-М по СТО 39952490-001-2020

Наименование показателя	Значение, норма	Методы испытаний
Внешний вид	Гранулы произвольной формы без посторонних включений; допускается вспенивание	10.2 (СТО 39952490-001-2020)
Цвет	Коричневый, чёрный	10.2 (СТО 39952490-001-2020)
Температура размягчения, °С, не менее	140	ГОСТ 33142
Средний размер гранул по наибольшему измерению, мм	2-6	10.4 (СТО 39952490-001-2020)
Насыпная плотность, г/см ³	0,35-0,70	ГОСТ Р 55419

В качестве наиболее суровых по температурному воздействию регионов САР были приняты восточные провинции страны. Лабораторные условия моделировали следующие этапы климатического температурного старения:

- 1-ый этап - тёплый весенний и начальный летний период - 70 дней при температуре 45 °С;
- 2-ый этап - наиболее жаркий летний период - 10 дней при температуре 60 °С;
- 3-ый этап - тёплый период завершения лета и теплая осень - 60 дней при температуре 50 °С;
- 4-ый этап - короткий наиболее холодный период - 10 дней при температуре -3 °С. Итого 150 дней.

Для эксперимента были приготовлены два состава теплой асфальтобетонной смеси. Исходные компоненты и приготовленная теплая асфальтобетонная смесь соответствовали требованиям нормативно-технической документации. Контрольная смесь не содержала модификатора, в другую смесь была введена модифицирующая добавка в минеральную часть - термоэластопласт резиновый РТЭП-М, соответствующий требованиям СТО 39952490-001-2020.

Результаты приведенного эксперимента показаны в таблицах табл. 2 и рис.

Таблица 2

Зависимость изменения механических показателей теплого асфальтобетона
от этапов климатического старения

Наименование показателя	Величина показателя			
	Контрольный состав		Модифицированный асфальтобетон	
	ДО старения	После старения	ДО старения	После старения
Предел прочности при сжатии, при температуре 50 °С, МПа	1,20	1,46	1,4	2,0
Предел прочности при сжатии, при температуре 20 °С, МПа	2,3	3,0	3,0	3,8
Предел прочности при сжатии, при температуре 0 °С, МПа	5,60	6,18	6,3	7,2

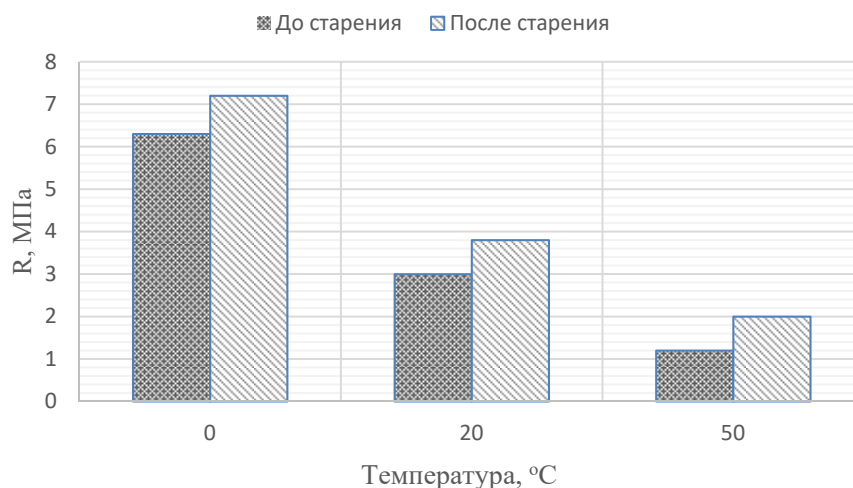


Рис. Предел прочности при сжатии, Модифицированный асфальтобетон

Выводы

Результаты изменения механических показателей теплого асфальтобетона после всех этапов климатического старения показывают увеличение прочности теплого асфальтобетона. Наблюдается существенный прирост показателей предела прочности при сжатии при температурах 0, 20 и 50 °С как для контрольного состава, так и для модифицированного состава асфальтобетона. При этом модифицированный состав асфальтобетона показал меньшую зависимость предела прочности при сжатии от температуры в сравнении с контрольным составом, как для исходных значений, так и после всех этапов климатического старения.

Так, коэффициент температурной чувствительности теплого модифицированного асфальтобетона с первоначального значения 4,5 уменьшился до 3,6, а контрольного состава с 4,7 до 4,2. Незначительная вариация показателя предела прочности при сжатии при температурах от 0 до 50 °С свидетельствует о низкой вероятности образования пластических дефектов на дорожных покрытиях из модифицированного теплого асфальтобетона. Отметим, что показатель предела прочности при сжатии при температуре 50 °С у модифицированного состава существенно выше, в сравнении с контрольным составом теплого асфальтобетона.

Библиографический список

1. Алшахван А., Калгин Ю. И. Актуальность применения теплых асфальтобетонных смесей для дорожного строительства в условиях Сирийской Арабской Республики // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 2. С. 26–33.
2. DW Academy. World Bank Report: War Syrian Losses [Электронный ресурс]. URL: <https://p.dw.com/p/2gIS7> (дата обращения: 23.10.2019).
3. Zaumanis, M. Warm Mix Asphalt Investigation, in Department of Civil Engineering / M. Zaumanis // Riga Technical University. – 2010. – P. 185.
4. Jamshidi A., Hamza, Z. You. Performance of Warm Mix Asphalt containing Sasobit®: State-of-the-art // Construction and Building Materials. 2013. No. 38. Pp. 530–553.
5. Capitão S.D., Picado-Santos L.G., Martinho F. Pavement engineering materials: Review on the use of warm-mix asphalt // Constr. Build. Mater. 2012. No. 36. Pp. 1016–1024.
6. Omari I., Aggarwal V., Hesp S. Investigation of two Warm Mix Asphalt additives // International Journal of Pavement Research and Technology. 2016. No. 9. Pp. 83–88.
7. Калгин, Ю. И. Дорожные битумоминеральные материалы на основе модифицированных битумов. Воронеж: изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2006. – 272 с.
8. Калгин Ю. И., Алшахван А., Паневин Н. И. Структурно-механические свойства модифицированного горячего и теплого дорожного асфальтобетона // Научный журнал Строительство и архитектуры. - 2022. №. 3 (67). С. 124 – 129.

References

1. Alshahwan A., Kalgin Yu.I. The importance of the use of warm mix asphalt for construction roads in conditions of the Syrian Arab Republic. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 2. Pp. 26–33.
2. DW Academy. World Bank Report: War Syrian Losses [Электронный ресурс]. URL: <https://p.dw.com/p/2gIS7> (дата обращения: 23.10.2019).
3. Zaumanis, M. Warm Mix Asphalt Investigation, in Department of Civil Engineering / M. Zaumanis // Riga Technical University. – 2010. – P. 185.
4. Jamshidi A., Hamza, Z. You. Performance of Warm Mix Asphalt containing Sasobit®: State-of-the-art // Construction and Building Materials. 2013. No. 38. Pp. 530–553.
5. Capitão S.D., Picado-Santos L.G., Martinho F. Pavement engineering materials: Review on the use of warm-mix asphalt // Constr. Build. Mater. 2012. No. 36. Pp. 1016–1024.
6. Omari I., Aggarwal V., Hesp S. Investigation of two Warm Mix Asphalt additives // International Journal of Pavement Research and Technology. 2016. No. 9. Pp. 83–88.
7. Kalgin, Yu. I. Road bitumen-mineral materials based on modified bitumen. Voronezh: Voronezh publishing VSTU, 2006.- 272 p.
8. Kalgin Yu.I., Alshahwan A., Panevin N.I. Structural and mechanical properties of modified hot and warm road asphalt concrete. Scientific journal Construction and Architecture. 2022. No. 3 (67). Pp. 124–129.

*Российский университет транспорта
(МИИТ)
Магистрант А.А. Бурцева
Россия, г. Москва, тел. +7(902)-753-91-74
e-mail: natali-viktoriy@list.ru*

*Russian University of Transport
(MIIT)
Graduate student A.A. Burtseva
Russia, Moscow, tel. +7(902)-753-91-74
e-mail: natali-viktoriy@list.ru*

А.А. Бурцева

ТЕРМООБРАБОТКА КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ОТВЕТСТВЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Подвижной состав железных дорог обеспечивает пассажирские и грузовые перевозки и является важным элементом транспортной отрасли России. Для увеличения срока эксплуатации ответственных деталей подвижного состава используется термообработка, позволяющая увеличить срок их эксплуатации и выдерживать серьезные нагрузки.

Ключевые слова: подвижной состав, ответственные детали, прочность детали, термообработка, закалка, отжиг, нормализация.

A.A. Burtseva

HEAT TREATMENT AS A METHOD OF INCREASING THE STRENGTH OF CRITICAL ELEMENTS OF RAILWAY TRANSPORT ROLLING STOCK

Railway rolling stock provides passenger and freight transportation and is an important element of the Russian transport industry. To increase the service life of critical parts of the rolling stock, heat treatment is used, which makes it possible to increase their service life and withstand severe loads.

Keywords: rolling stock, critical parts, part strength, heat treatment, hardening, annealing, normalization.

Транспортные системы представляют собой важнейший структурный элемент экономической системы развитых государств. Подвижной состав, в свою очередь, является одним из ключевых элементов транспортных систем, требующим проведения качественной оценки технического состояния работающих узлов в целях повышения конкурентоспособности транспортной отрасли и обеспечения безопасности перевозок.

К наиболее ответственным деталям грузовых вагонов в подвижном составе принято относить боковые рамы тележек и надрессорные балки, а также оси колесных пар, цельнокатанные колеса, бандажи, литые детали тележек грузовых вагонов, корпуса автосцепки, которые наиболее часто подвержены изломам в процессе эксплуатации вследствие статических и динамических вертикальных нагрузок, зачастую носящих циклический характер. Примером таких нагрузок может служить влияние веса вагона и груза, а также ударов при прохождении вагоном неровностей пути [7, 8]. Воздействие крутящего момента при вписывании вагонов в кривые испытывают также продольные нагрузки, к которым можно отнести усилия тяги при равномерном движении состава или усилия при соударении вагонов.

Усталостная прочность боковых рам представляет собой способность длительного противостояния воздействию циклических нагрузжений и является основной характеристикой их эксплуатационной надежности, что напрямую влияет на безопасность движения. Аварийные ситуации на железнодорожном транспорте, как правило, вследствие пропуска опасных дефектов в данных деталях, усталости металла или нарушения технологии изготовления деталей. Почти все ответственные детали вагонной тележки и автосцепки, за исключением осей колёсных пар, подвержены постоянному неблагоприятному воздействию окружающей среды из-за высокой шероховатости поверхности, что существенно влияет на прочностные характеристики ответственных элементов подвижного состава железнодорожного транспорта [7]. Поэтому необходимость повышения прочности, а также разработки новых способов и систем выявления дефектов в литых деталях тележек грузовых вагонов с использованием специальной аппаратуры обуславливается возрастающими требованиями к эксплуатации подвижного состава.

Процесс изготовления ответственной детали состоит из ряда последовательно выполняемых и взаимосвязанных между собой операций и включает, как правило, получение заготовки, ее предварительную термическую обработку, механическую обработку резанием, упрочняющую термическую обработку, шлифовку и комплекс других операций.

Изготовление конструкций для длительного пользования предполагает обязательный процесс термообработки металлических заготовок. После термической обработки ответственные детали выдерживают серьезные нагрузки, увеличивается их срок эксплуатации. Под термической обработкой металла понимается ряд процессов, позволяющих изменить внутреннюю структуру материала, повысить его эксплуатационные качества [8, 10]. Повышение качества каких-либо машин и агрегатов является важной задачей термообработки. Это влечет за собой повышение качества выпускаемой продукции и производительности труда при меньших затратах на рабочую силу, сырье, энергию, необходимую для реализации производства. Химический состав металла после нагревания не изменяется, а эксплуатационные характеристики материала, такие как прочность и износостойкость, антикоррозионные характеристики, пластичность улучшаются в результате термической обработки.

В процессе термообработки детали проходят ряд этапов, включающих в себя:

- нагрев, влияющий на структуру кристаллической решетки заготовки;
- охлаждение, позволяющее зафиксировать изменения, достигнутые во время нагрева;
- отпуск, устраняющий напряжение и выравнивающий готовую структуру.

Следует отметить, что для улучшения свойств готовых изделий и подготовки к окончательной термической обработке такие разновидности ответственных деталей как поковки (штамповки), отливки и сварные заготовки подвергают предварительной термической обработке путем различных видов отжига и нормализации. Предварительная термическая обработка является окончательной в случае, если заданные свойства готовых изделий характеризуются невысокой прочностью и твердостью. Стальные заготовки подвергаются нормализации или улучшению с помощью комбинации закалки и высокого отпуска на прочность и твердость детали.

Существует несколько разновидностей термообработки деталей, каждый из которых имеет свои особенности, преимущества и недостатки [11]. В целом, процесс термообработки деталей имеет ряд неоспоримых преимуществ: повышение износостойкости и прочности металла, длительный срок эксплуатации готовых деталей, снижение количества бракованных заготовок, улучшение устойчивости к коррозионным процессам.

Отжиг представляет собой равномерное нагревание металлической заготовки до определенной температуры и последующее её остывание естественным путём. После данного процесса исчезает внутреннее напряжение металла, его неоднородность; материал размягчается под воздействием температуры и становится легкообрабатываемым [9]. В основном отжиг применяют для улучшения механических свойств металла, получения однородной кон-

систенции материала, повышения пластичности и степени сопротивляемости, а также для уменьшения внутреннего сопротивления заготовки. В зависимости от специфики проведения работ отжиг классифицируют на изотермический, полный или неполный, диффузионный и т.д. [11]. Существует два вида отжига: при первом происходит незначительное изменение кристаллической решётки в металле, а во втором случае начинаются фазовые изменения структуры материала. При этом диапазон воздействия температур составляет от 25 до 1200 градусов [9, 10]. Цикл охлаждения проходит либо в специальной печи, либо на открытом пространстве. **Преимуществами** отжига являются: отсутствие ограничений на вид детали и эффективность при решении задач различных классов, требующих оптимизации. В свою очередь, к **недостаткам** данного вида термообработки можно отнести: требование бесконечно медленного охлаждения (на практике - более медленная работа алгоритма) и сложность настройки [6].

Химико-термическая обработка представляет собой ещё одну разновидность термообработки, при которой деталь разогревается и подвергается воздействию различных химических элементов. Поверхность детали очищается и покрывается химическими составами [3]. Наиболее перспективным методом химико-термической обработки является борирование (насыщение поверхностных слоев металлов и сплавов бором), которое позволяет получать на их поверхности диффузионные слои, обладающие рядом ценных эксплуатационных свойств [4]. При диффузионном насыщении бором в структуре стали образуются бориды железа FeB и Fe_2B обладающие высокой твердостью, что способствует повышению износостойкости и теплостойкости изделий, эксплуатируемых при повышенных температурах и ударных нагрузках.

Основной, а порой и единственной, операцией термической обработки является **закалка**, которой подвергаются различные детали подвижного состава. В результате закалки сталь получает структуру с высокой прочностью и твердостью [11]. Например, углеродистая сталь марки 20Л, полученная мартеновским способом или в электрических печах, позволяет изготавливать стальные боковые рамы и надрессорные балки, однако не удовлетворяет требованиям по механической прочности и ударной вязкости. Это обуславливает переход на изготовление боковых рам и надрессорных балок из низколегированных сталей.

Существует несколько разновидностей закалки деталей [3, 5]. В процессе **индукционной или газопламенной** закалки прочность повышается вследствие изменения структуры поверхностного слоя в процессе локального нагрева и последующего быстрого охлаждения. При этом технологическими влияющими факторами являются глубина зоны нагрева и достигнутая скорость охлаждения. **Поверхностной** закалке деталей машин из среднеуглеродистых нелегированных и реже малолегированных сталей (валы, шестерни, плунжеры и т.п.) на некоторую глубину подвергается только поверхностный слой, сердцевина при этом остается незакаленной, вязкой и восприимчивой к ударным нагрузкам. Для таких деталей отдельно задаются свойства сердцевины, поверхностная твердость и глубина упрочненного слоя. Основным назначением данной операции является повышение твердости, износостойкости и предела выносливости ответственного элемента [9, 10]. Одним из наиболее сложных методов термообработки при закалке является охлаждение элемента, позволяющее получить наибольшую закаливаемость и прокаливаемость на мартенсит. Скорость охлаждения стали после закалки зависит от среды, в которой оно проводится [1]. Зачастую в качестве охлаждающей жидкости при закалке используют воду и масло, однако они не соответствуют требованиям, к числу которых можно отнести:

- быстрое охлаждение в интервале температур минимальной устойчивости аустенита — 650—550°C;
- охлаждение с умеренной скоростью в интервале температур мартенситного превращения — 300—200°C. Мартенситное превращение при этом раньше начинается у поверхности детали, в результате чего появляются внутренние напряжения и трещины, что негативно

сказывается на сроке эксплуатации детали вследствие снижения ее прочности и увеличения изнашиваемости [10].

Охлаждение *в воде* обеспечивает самую высокую скорость и используется для среднеуглеродистых низколегированных сталей, а также для некоторых марок коррозионностойких сталей. Для охлаждения используется чистая или с растворенными в ней солями вода, а также щелочные растворы. В изотермических и ступенчатых процессах для охлаждения используются расплавы солей, щелочей и металлов [5].

Закаливающая способность различных *масел* при одной и той же температуре зависит от их вязкости. В процессе работы вязкость масла постепенно повышается, и, следовательно, закаливающая способность его падает. Это происходит вследствие насыщения масла продуктами его термического разложения и благодаря попаданию в масло механических примесей. Ступенчатая закалка используется для деталей из сложнолегированных сталей: крупногабаритные детали после нагрева несколько минут держат в воде, а затем охлаждают в масле до +320...300°C, после чего оставляют на воздухе [1]. **Преимуществами** заковки являются высокая производительность, отсутствие обезуглероживания и окисления поверхности детали, возможность регулирования и контроля режима термической обработки, а также применения автоматизации технологического процесса. **Недостатком** заковки можно считать высокую стоимость индукционных установок и индукторов [6], так как для каждой детали применяется свой индуктор, поэтому экономически целесообразно использовать закалку только в массовом производстве однотипных деталей простой формы.

Термомеханическая обработка представляет собой типовой режим термической обработки сталей, при котором используется оборудование создающее давление, нагревательные элементы и ёмкости для охлаждения. При различных температурах заготовка подвергается разогреву, а после этого пластической деформации [9].

Нормализация предполагает формирование мелкозернистой структуры. При обработке сталей с низким содержанием углерода получается феррито-перлитная структура, легированных — сорбитоподобная. Процессу нормализации можно подвергать горячекатаные стали, что приводит, в конечном счете, к увеличению сопротивления излому, прочностных свойств и вязкости [11].

Отпуск — заключительный этап термообработки стали, который проводится после заковки. В зависимости от интенсивности нагрева делится на низкий и высокий. Каждый из этих типов имеет свои особенности, но общим для них является повышение вязкости металла, снятие внутреннего напряжения и увеличение прочности материала [9, 11]. Отпуск стали может проводиться при различных температурах, однако сам процесс подвержен изменениям.

Упрочняющая термическая обработка состоит, как правило, из заковки и отпуска на заданные свойства. Азотирование при 520-580°C применяют в случае требования очень высокой твердости и износостойкости детали и производят после шлифования окончательно готовых деталей, прошедших до этого закалку с отпуском с температурой не ниже температуры азотирования. На практике термообработка может подразумевать сочетание более сложных типов заковки, отпусков, химико — термической обработки [10]. Отпуск для снятия напряжений, образовавшихся при шлифовании и заточке деталей, зачастую используют в качестве дополнительных операций термообработки.

После завершения цикла термической обработки изделие подвергается обработке и защите от коррозионных процессов. Для этого очищенные, промытые и просушенные заготовки на 5 минут погружают в раствор нитрита 20-30% концентрации, а затем заворачивают в пропитанную этим средством бумагу.

Существует несколько современных способов термообработки, включающих в себя, например, термическую обработку в вакууме, вакуумную цементацию и нитроцементацию, а также спрейерную и струйную закалку [7]. Данные способы широко используются для уве-

личения глубины закаленного слоя, повышения эксплуатационных характеристик и уменьшения уровня остаточных напряжений.

Вакуумный метод позволяет улучшить равномерность и быстроту скорости охлаждения ответственных деталей. Вакуумные печи можно рассматривать как альтернативу повсеместного метода закалки в масле. Нагрев происходит конвективно с давлением газа до 3 бар и/или в вакууме. Закалка при этом возможна с использованием различных газов: азотом, гелием, водородом до давления 20 бар.

Вакуумная цементация и нитроцементация представляют собой наиболее эффективные способы насыщения сталей, где в качестве насыщающей атмосферы используют ацетилен, при нитроцементации ацетилен и аммиак. FineCarb - уникальная технология вакуумной цементации, которая основывается на смеси трех газов и гарантирует чистый процесс без внутреннего окисления, которое можно наблюдать при технологии, основанной на ацетилене.

Спрейерная и струйная закалка предназначена для регулирования скорости охлаждения, уменьшения коробления, получения высокой и равномерной твердости. За счет этого достигается легкость очистки поверхности, безопасность работы, стоимость операций закалки. Полимерные растворы позволяют быстро и равномерно охлаждать нагретые изделия, не вызывают их коррозию, не содержат нитратов, не воспламеняются и являются безопасны для окружающей среды. Применение полимерных закалочных сред и управляемой компьютером спрейерной закалки дает возможность получать материалы с требуемыми свойствами. При струйной закалке охлаждение осуществляют интенсивной струей воды. Такой процесс применяется при необходимости закаливания отдельных частей изделий. Иногда для этих целей применяются брандспойты.

Таким образом, термообработка ответственных деталей подвижного состава позволяет повысить прочность и вязкость детали, увеличить устойчивость к коррозионным процессам и изнашиванию деталей в целом, повысить их эксплуатационные качества. Данный метод включает в себя ряд этапов, каждый из которых имеет ряд преимуществ и недостатков. Современные способы термообработки постоянно совершенствуются, что позволяет ускорить процесс термообработки и минимизировать изнашиваемость ответственных деталей подвижного состава.

Библиографический список

1. Выбор охлаждающей среды при закалке. Вода, масло [Электронный ресурс] URL: <http://delta-grup.ru/bibliot/100/28.htm> (Дата обращения 17.11.22).
2. Князев Д. А. Обоснование периодичности освидетельствования полых осей колесных пар высокоскоростного подвижного состава [Текст] : дисс. ... канд. Тех. Наук : 05.22.07 : - защищена 19.12.2019 / Князев Дмитрий Александрович. – М., 2019. – 138 с.
3. Место термической и химико-термической обработки в технологическом процессе изготовления детали [Электронный ресурс] URL: <https://studfile.net/preview/7723046/page:9/> (Дата обращения 06.11.22).
4. Недостатки процессов и перспективные способы химико-термической обработки [Электронный ресурс] URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=11882> (Дата обращения 08.11.22).
5. Общие сведения о технологии закалки стали [Электронный ресурс] URL: <https://www.adamantsteel.ru/info/articles/zakalka-stali/> (Дата обращения 16.11.22).
6. Преимущества и недостатки термической обработки [Электронный ресурс] URL: <https://prod.bobrodobro.ru/87106> (Дата обращения 06.11.22).
7. Современные виды термообработки [Электронный ресурс] URL: <https://scienceforum.ru/2019/article/2018015624> (Дата обращения 13.11.22).

8. Способ диагностики наличия трещин в ходовых частях тележки подвижного состава [Электронный ресурс] URL: https://i.moscow/patents/RU2535246C1_20141210 (Дата обращения 05.11.22).
9. Термическая обработка металла [Электронный ресурс] URL: <https://m-investspb.ru/poleznaya-informatsiya/termicheskaya-obrabotka-metalla> (Дата обращения 03.11.22).
10. Термическая обработка стальных деталей машин, инструментов и отливок: Курсовая работа по металлографии и термической обработке/ Н. П. Морозов, В. В. Уваров, В. С. Уварова; Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 1995, 132 с.
11. Что такое термическая обработка металлов и сплавов [Электронный ресурс] URL: <https://ipmet.ru/chto-takoe-termicheskaya-obrabotka-metallov-i-splavov/> (Дата обращения 09.11.22).

References

1. Selection of the cooling medium during hardening. Water, oil [Electronic resource] URL: <http://delta-grup.ru/bibliot/100/28.htm> (accessed 17.11.22).
2. Kniazev D. A. Justification of inspection frequency of hollow axles of wheel pairs of high-speed rolling stock [Text] : dissertation. ... Cand. Sciences : 05.22.07 : - defended 19.12.2019 / Knyazev Dmitry Aleksandrovich. - M., 2019. - 138 с.
3. The Place of heat and chemical-thermal treatment in the technological process of manufacturing a part [Electronic resource] URL: <https://studfile.net/preview/7723046/page:9/> (Date of reference 06.11.22).
4. Process disadvantages and promising ways of chemical-thermal treatment [Electronic resource] URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=11882> (Date of reference 08.11.22)
5. General information about steel hardening technology [Electronic resource] URL: <https://www.adamantsteel.ru/info/articles/zakalka-stali/> (Last accessed 16.11.22).
6. Advantages and disadvantages of heat treatment [Electronic resource] URL: <https://prod.bobrodobro.ru/87106> (Last accessed 06.11.22).
7. Modern types of heat treatment [Electronic resource] URL: <https://scienceforum.ru/2019/article/2018015624> (accessed 13.11.22).
8. Diagnostic method of cracks in the running parts of the rolling stock bogie [Electronic resource] URL: https://i.moscow/patents/RU2535246C1_20141210 (Last accessed 05.11.22).
9. Thermal processing of metal [Electronic resource] URL: <https://m-investspb.ru/poleznaya-informatsiya/termicheskaya-obrabotka-metalla> (Last accessed on 03.11.22).
10. Thermal Processing of Steel Machine Parts, Tools and Castings: Coursework on Metallography and Heat Treatment / N. P. Morozov, V. V. Uvarov, V. S. Uvarova; Samara State Aerospace University. Samara, 1995, 132 p.
11. What is the heat treatment of metals and alloys [Electronic resource] URL: <https://ipmet.ru/chto-takoe-termicheskaya-obrabotka-metallov-i-splavov/> (accessed 09.11.22).

*Воронежский государственный
технический университет
Канд. техн. наук, доцент кафедры строи-
тельной механики
Г.Е. Габриелян
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473) 2715230
e-mail: grayr2010@rambler.ru
Студенты дорожно-транспортного фа-
культета
А.В. Волокитина
Россия, г. Воронеж, тел. +7(904)212-18-21
e-mail: nasya.v@mail.ru
М.А. Габриелян
Россия, г. Воронеж, тел. +7(915)588-66-07
e-mail: gabrielyan-525@mail.ru
Ю.А. Макаренкова
Россия, г. Воронеж, тел. +7(473)271-53-62
e-mail: y.makarenkova@btlvz.ru
Студент строительного факультета
М.В. Волков
Россия, г. Воронеж, тел. +7(953)818-65-74
e-mail: misha_volkov_2015@list.ru*

*Voronezh State
Technical University
PhD of Tech.Sciences, Associate professor of
the Department of Structural Mechanics
G.E. Gabrielyan
Russia, Voronezh, tel. +7 (473) 2715230
e-mail: grayr2010@rambler.ru
Students of the Faculty of Highways and
Transport
A.V. Volokitina
Russia, Voronezh, tel. +7(904)212-18-21
e-mail: nasya.v@mail.ru
M.A. Gabrielyan
Russia, Voronezh, tel. +7(915)588-66-07
e-mail: gabrielyan-525@mail.ru
Yu.A. Makarenkova
Russia, Voronezh, tel. +7(473)271-53-62
e-mail: y.makarenkova@btlvz.ru
Student of the Faculty of Civil Engineering
M.V. Volkov
Russia, Voronezh, tel. +7(953)818-65-74
e-mail: misha_volkov_2015@list.ru*

Г.Е. Габриелян, А.В. Волокитина, М.А. Габриелян, Ю.А. Макаренкова, М.В. Волков

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТОЧКИ УПРУГОЙ ПОЛУПЛОСКОСТИ ПРИ ДЕЙСТВИИ СЛУЧАЙНОЙ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ СИЛЫ

Рассматривается задача теории упругости о действии сосредоточенной силы на край упругой полуплоскости в вероятностной постановке. Сила представляется случайной величиной, состоящей из двух слагаемых, распределенных по нормальному закону и закону Вейбулла. С использованием метода статистических испытаний определяются параметры напряженно-деформированного состояния точки полуплоскости. Анализируется влияние значимости слагаемого по Вейбуллу на параметры выходных распределений.

Ключевые слова: случайная величина, задача Фламана, нормальный закон распределения, закон распределения Вейбулла.

G.E. Gabrielyan, A.V. Volokitina, M.A. Gabrielyan, Yu.A. Makarenkova, M.V. Volkov

PROBABILISTIC ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF A POINT OF ELASTIC HALF-PLANE UNDER THE ACTION OF A RANDOM POINTED FORCE

The problem of elasticity theory about the action of a concentrated force on the edge of an elastic half-plane is considered in a probabilistic formulation. The force is represented by a random variable consisting of two terms distributed ac-

cording to the normal law and the Weibull law. Using the method of statistical tests, the parameters of the stress-strain state of a half-plane point are determined. The influence of the significance of the Weibull term on the parameters of the output distributions is analyzed.

Keywords: random variable, Flamant problem, normal distribution law, Weibull distribution law.

Задача Фламана о действии сосредоточенной силы на край упругой полуплоскости находит широкое практическое применение в механике грунтов. Эта плоская задача согласуется с работой основания ленточных фундаментов, подпорных стен, насыпей и других сооружений, длина которых не менее чем в 10 раз превосходит их поперечный размер. В условиях плоской задачи напряжение в грунте определяют исходя из положений, принятых в случае действия сосредоточенной нагрузки, т.е. полагают, что элементарные сосредоточенные силы распределены по линии – линейная нагрузка.

В настоящей работе приводится вероятностный анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) точки упругой полуплоскости при действии случайной сосредоточенной силы (рис.1).

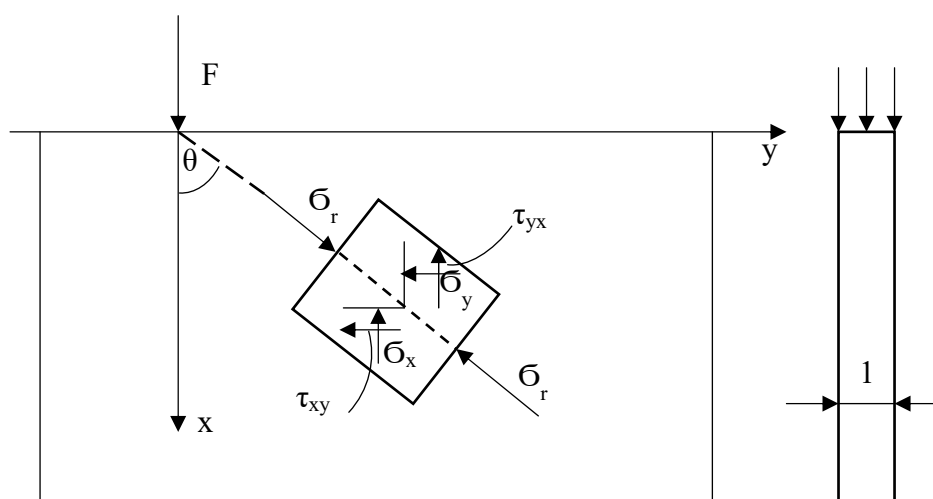


Рис. 1. К постановке задачи

Распределение напряжений в плоскости XY , как известно, в указанном случае будет

$$\sigma_x = -\frac{2Fy^3}{\pi(x^2+y^2)^2}, \quad (1)$$

$$\sigma_y = -\frac{2Fxy^2}{\pi(x^2+y^2)^2}, \quad (2)$$

$$\tau_{xy} = -\frac{2Fxy}{\pi(x^2+y^2)^2}. \quad (3)$$

В настоящей работе сила F , действующая на край упругой полуплоскости, представляется случайной величиной, состоящей из двух слагаемых

$$F = F_1 + F_2. \quad (4)$$

Здесь F_1 – это случайные числа, распределенные по нормальному закону с плотностью распределения вероятности

$$P_{F_1} = \frac{1}{\sigma_{F_1}\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(F_1 - m_{F_1})^2}{2\sigma_{F_1}^2} \right], \quad (5)$$

где m_{F_1} и σ_{F_1} – соответственно математическое ожидание и стандарт;

F_2 – случайные числа, подчиняющиеся закону Вейбулла, с функцией плотности, математическим ожиданием и дисперсией

$$P_{F_2} = -\frac{\beta}{\theta} \left(\frac{F_2}{\theta}\right)^{-(\beta+1)} \cdot \exp \left[-\left(\frac{F_2}{\theta}\right)^{-\beta} \right], \quad (6)$$

$$m_{F_2} = \theta \cdot \Gamma \left(-\frac{1}{\beta} + 1 \right), \quad (7)$$

$$D_{F_2} = \theta^2 \left[\Gamma \left(-\frac{2}{\beta} + 1 \right) - \Gamma^2 \left(-\frac{1}{\beta} + 1 \right) \right], \quad (8)$$

$$\beta \neq 1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \dots,$$

где θ – масштабный параметр, β – коэффициент формы, Γ -гамма-функция.

Для вероятностного анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) точек упругой полуплоскости использовался метод статистических испытаний. Сущность метода статистических испытаний состоит в проведении вычислительного эксперимента, заключающегося в многократном расчете НДС точек полуплоскости с каждым раз изменяющимся значением силы F . В каждом расчетном варианте сила F является случайной величиной. Расчет НДС точки упругой полуплоскости по методу статистических испытаний включает следующие этапы:

- генерация случайного значения силы F в соответствии с законами (5) и (6);
- расчет НДС точки полуплоскости по (1)-(3);
- накопление статистических данных параметров НДС при повторных расчетах для разных значений F ;
- выравнивание статистических распределений и подбор подходящих аналитических законов распределения.

Для выполнения вероятностных расчетов использовался статистический пакет STADIA, разработанный в МГУ имени М.В. Ломоносова.

Были сгенерированы 200 случайных чисел, распределенных по нормальному закону с параметрами $m=100$ кН и $\sigma=30$ кН и 200 случайных чисел по закону Вейбулла с $\theta=100$ кН и $\beta=1$. Расчеты по методу статистических испытаний показали, что все полученные распределения напряжений, характеризующих НДС точки полуплоскости, отличаются от нормального с положительной асимметрией.

Попытки аппроксимации статистических рядов распределения законами Вейбулла и Релея показали, что указанные законы противоречат данным статистического испытания.

Было оценено влияние значимости слагаемого F_2 на распределение напряжений. Нагрузка F представлялась в виде $F = F_1 + mF_2$ и вычислялась при значениях m , равных 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1. С увеличением m (т.е. значимости слагаемого F_2) увеличивались значения коэффициента асимметрии K_a (рис.2) и эксцесса E (рис.3) распределения напряжений.

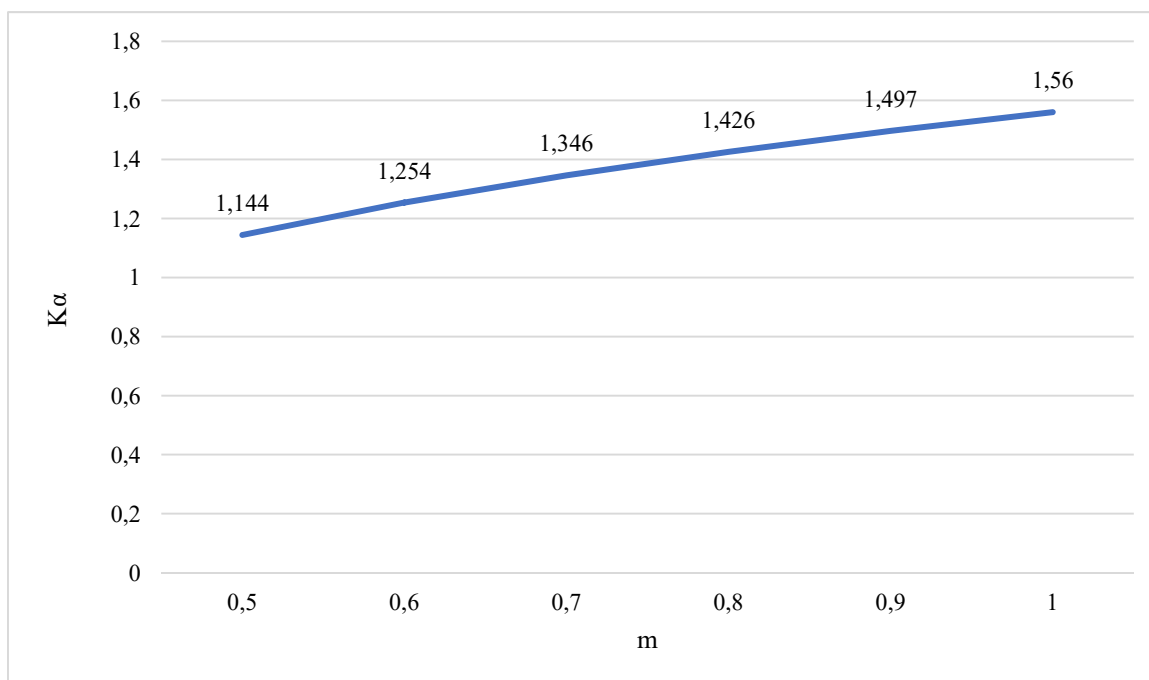


Рис. 2. Изменение коэффициента асимметрии распределения в зависимости от параметра m

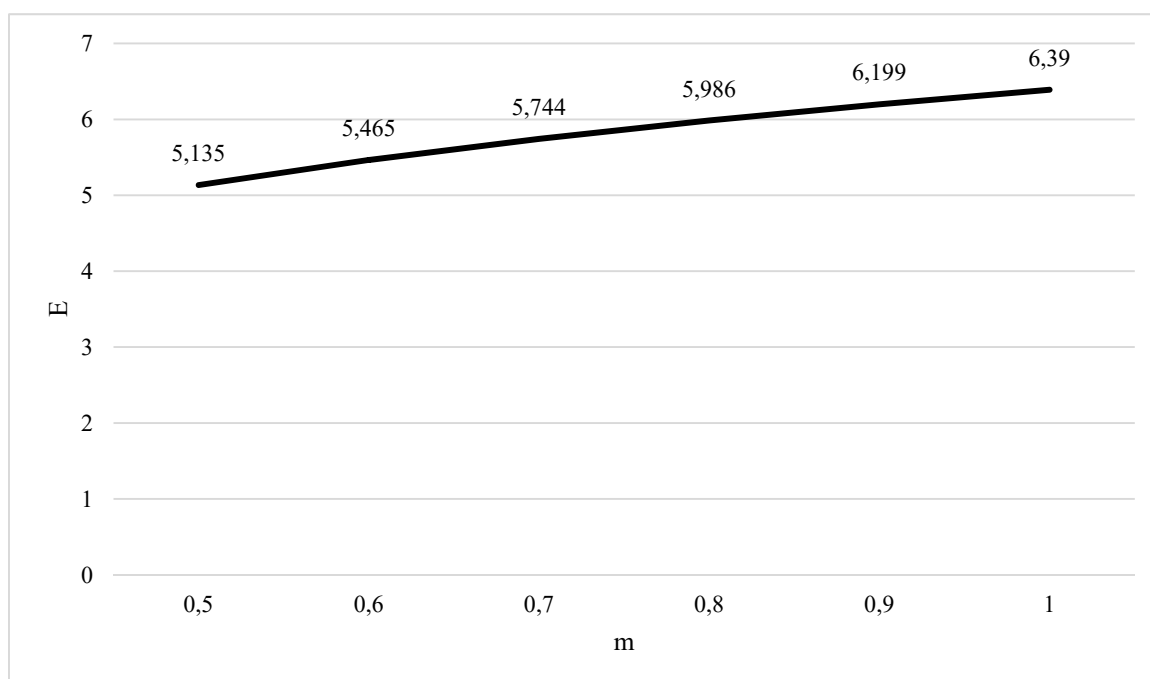


Рис. 3. Изменение эксцесса распределения в зависимости от параметра m

При увеличении m с 0,5 до 1 коэффициент асимметрии изменялся на 37%, а эксцесс- на 25%. Полученные зависимости Ka и E от m представляют собой нелинейные кривые мягкого типа. С помощью процедуры простой регрессии для этих зависимостей были получены логарифмические регрессионные модели

$$Ka = 1,56 + 0,6 \ln(m)$$

$$E = 6,39 + 1,8 \ln(m).$$

Библиографический список

1. Александров А.В. Сопротивление материалов. Основы теории упругости и пластичности/А.В. Александров, В.Д. Потапов -М.: Высш.шк.,2007.-400 с.
2. Икрин В.А.Сопротивление материалов с элементами теории упругости и пластичности / В. А. Икрин. -М.: Изд-во АСВ,2005.-424 с.
3. Саргсян А.Е. Сопротивление материалов, теория упругости и пластичности/А.Е. Саргсян -М.: Высш.шк.,2002.-285 с.
4. Самуль В.И. Основы теории упругости и пластичности/ В.И. Самуль -М.: Высш.шк.,1982.-264 с.
5. Осесимметричные задачи теории упругости. Эл.ресурс: [http:// bookfi.org/book/637358](http://bookfi.org/book/637358).

References

1. Aleksandrov A.V. Strength of materials. Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity / A.V. Aleksandrov, V.D. Potapov -M.: Higher School, 2007.-400 p.
2. Ikrin V.A. Resistance of materials with elements of the theory of elasticity and plasticity / V.A. Ikrin. - M.: Publishing House ASV, 2005. - 424 p.
3. Sargsyan A.E. Strength of materials, theory of elasticity and plasticity / A.E. Sargsyan -M.: Higher School, 2002.-285 p.
4. Samul V.I. Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity / V.I. Samul -M.: Higher School, 1982.-264 p.
5. Axisymmetric problems of the theory of elasticity. El.resource: <http://bookfi.org/book/637358>.

*Белгородский государственный
технологический университет
Канд. экон. наук, доц. кафедры Подъемно
транспортных и дорожных машин
М.А. Романович
Россия, г. Белгород, тел. +7(905) 679-27-96
e-mail: bel31rm@yandex.ru*

*Белгородский государственный
технологический университет
Магистрант кафедры Подъемно транс-
портных и дорожных машин
Д.С. Агафонов*

*Россия, г. Белгород, тел. +7(910) 228-44-74
e-mail: agafonovdmity98@mail.ru*

*Белгородский государственный
технологический университет
Магистрант кафедры Подъемно транс-
портных и дорожных машин
А.Г. Искренюк Россия, г. Белгород, тел.
+7(905) 671-39-37
e-mail: iskrenok15@mail.ru*

*Belgorod state technological university
named after V.G. Shukhov
PhD in Economic Sciences, Associate Profes-
sor of the Department of Hoist transport and
road machines M.A. Romanovich
Russia, Belgorod, tel. +7 (905) 679-27-96
e-mail: bel31rm@yandex.ru*

*Belgorod state technological university
named after V.G. Shukhov
Master's Degree Student of the Department of
Hoist transport and road machines
D.S. Agafonov*

*Russia, Belgorod, tel. +7(910) 228-44-74
e-mail: agafonovdmity98@mail.ru*

*Belgorod state technological university
named after V.G. Shukhov
Master's Degree Student of the Department of
Hoist transport and road machines
A.G. Iskrenok
Russia, Belgorod, tel. +7(905) 671-39-37
e-mail: iskrenok15@mail.ru*

М.А. Романович, Д.С. Агафонов, А.Г. Искренюк

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕЗИНТЕГРАЦИИ В ПРЕСС-ВАЛКОВОМ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕ АНИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗРУШЕНИЯ ДАВЛЕНИЕМ

В статье анализируется зависимость результирующей формы зерна анизотропного материала от конкретного метода разрушения и физических свойств материала с целью улучшения существующего процесса дробления. Было обнаружено, что результат формы зерна, полученный после измельчения, зависит от способа разрушения, который, в свою очередь, влияет на многие показатели качества материала. Это позволит учитывать физико-механические параметры и анизотропию структурной текстуры щебня, а также решать различные практические задачи для прогнозирования качества получаемого измельченного материала.

Ключевые слова: измельчение, пресс-валковый агрегат, разрушение давлением, анизотропия.

М.А. Romanovich, D.S. Agafonov, A.G. Iskrenok

INVESTIGATION OF THE DISINTEGRATION PROCESS IN THE PRESS ROLL CRUSHER OF ANISOTROPIC MATERIALS OF DESTRUCTION BY PRESSURE

The article is analyzed a dependence of the resulting grain shape of an anisotropic material from a specific method of destruction and physical properties of the material for the purpose of improvement the existing crushing process. It was found that the result of the grain shape obtained after grinding depends on the

method of destruction, which, in turn, affects many indicators of the quality of the material. This would allow taking into account the physical and mechanical parameters and anisotropy of the structural texture of crushed stone, as well as solving various practical problems for predicting the quality of the resulting crushed material.

Keywords: grinding, press- roll crusher, destruction by pressure, anisotropy.

Говоря о понятии энергозатрат, необходимо отметить взаимосвязь между затратами энергии в процессе дробления горных пород и между величиной удельной поверхности продуктов дробления. Так ученым П. Риттингером была установлена взаимосвязь между энергозатратами при измельчении материала и величины энергии свободной поверхности этих материалов при дроблении.

Целью данного исследования является анализ данных с целью определения зависимости формы зерен и физико-технических свойств исследуемого материала от способа дезинтеграции, расчет математической модели выхода материала в форме зерен, имеющих лещадную форму, что позволит более подробно описать физико-механические показатели и анизотропию измельчаемой породы, которая отражает минералогический его состав с учетом специфики природы, а так же независимых от деятельности человека факторов.

Разработанная математическая модель Г.М. Редькина описывает вызванную слоистостью анизотропию свойств горных пород, что позволяет решать различные практические задачи, в частности прогнозирование качества получаемого дробимого материала [7].

Используемая в работе математическая модель разрушения давлением горных материалов представляет особый интерес по сравнению с остальными существующими [3,4], так как, несмотря на различие подходов, этот вопрос все так же остается слабо исследованным, особенно в области процесса дезинтеграции в пресс-валковом измельчителе (ПВИ) анизотропных материалов. Наглядно на рисунке 1 представлено направление воздействия $\vec{n}(\alpha)$ на измельчаемый материал со сланцеватой текстурой (1) и индикатрисой $\Pi(\alpha)$ (2) анизотропной структуры материала на выходе в форме лещадных зерен.

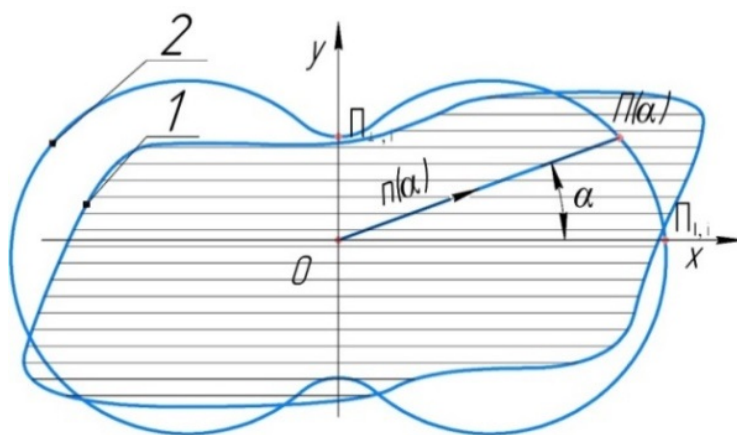


Рис. 1. Схема направленного воздействия $\vec{n}(\alpha)$ на измельчаемый в ПВИ материал со слоистой текстурой (1) и индикатрисой $\Pi(\alpha)$ (2)

Для расчета возьмем параметры материалов известняка органогенного и амфиболиты (месторождение КМА) из таблицы 1

Таблица 1

Характеристика различных физико-технических свойств анизотропных материалов

Наименование	Предел прочности при сжатии, МПа		Коэффициент анизотропии, k_R
	Перпендикулярно сланцеватости, $\Pi_{\perp}$	Параллельно сланцеватости, $\Pi_{\parallel}$	
Материал - Известняк органо-генный	85	55	1,46
Материал - Амфиболиты (месторождение - КМА)	135	65	1,93

Пусть рассматриваемая технология измельчения материала характеризуется равномерным распределением, какой-то доли измельчаемого материала ПВИ в направлении $n(\alpha)$, $0 \leq \alpha \leq \pi/2$. Основываясь на этом, получим:

$$f(\alpha) = \begin{cases} \frac{2}{\pi}, & \alpha \in [0, \frac{\pi}{2}], \\ 0, & \alpha \notin [0, \frac{\pi}{2}]. \end{cases} \quad (1)$$

Произведем подстановку в уравнении (1) интегралов, у которых есть переменная плотность вероятности, основываясь на этом, путем вычисления отобразим математическую модель выхода лещадных зерен, которая соответствует следующему гипотетическому способу измельчения:

$$МП = \frac{2}{\pi} [\Pi_{\parallel}] E\left(\frac{\pi}{2}; k\right), \quad (2)$$

$$ДП = (2 - 1) \cdot \frac{ДП}{2}, \quad (3)$$

где $E(\varphi; k)$ – эллиптический интеграл, относящийся ко второму роду формы Лежандра.

С целью нахождения математического ожидания выхода лещадных зерен при практически применяемой технологии дробления материалов, в частности известняков органо-генных, которые характеризуются коэффициентами анизотропии с пределами прочности при сжатии $k_R = 1,46$ и значениями параметров $[\Pi_{\parallel}] = 55$ МПа, $[\Pi_{\perp}] = 85$ МПа.

Вычислим коэффициент k по следующей формуле:

$$k = \frac{\sqrt{[\Pi_{\perp}]^2 - [\Pi_{\parallel}]^2}}{[\Pi_{\perp}]} \quad (4)$$

$$k = \frac{\sqrt{85^2 - 55^2}}{85} = 0,762$$

Согласно таблице, взятой из специальных функций [9] найдем $E\left(\frac{\pi}{2}; 0,762\right) = 1,2032$, после чего согласно формуле предложенной Г.М. Редькина (7) найдем математическое ожидание, относительно выхода лещадных зерен в процессе дробления

$$МП = \frac{2}{\pi} \cdot \left(\frac{55}{85 + 55}\right) \cdot 100 \cdot 1,2032 = 22,94 \%$$

Таким образом, математическое ожидание выхода лещадных зерен при дроблении известняков органо-генных равно 22,94%.

Найдем математическое ожидание выхода лещадных зерен при рассматриваемой технологии дробления амфиболитов (месторождение КМА), характеризующихся коэффициентами анизотропии пределов прочности при сжатии $k_R = 1,93$ и значениями параметров $[\Pi_{\parallel}] = 65$ МПа, $[\Pi_{\perp}] = 135$ МПа.

Вычислим коэффициент k по формуле (4)

$$k = \frac{\sqrt{135^2 - 65^2}}{135} = 0,876$$

По таблице [9] найдем $E(\frac{\pi}{2}; 0,876) = 1,1238$. По формуле (2) найдем математическое ожидание выхода лещадных зерен:

$$\text{МП} = \frac{2}{\pi} \cdot \left(\frac{65}{135 + 65} \right) \cdot 100 \cdot 1,1238 = 20,38 \%$$

Таким образом, математическое ожидание выхода лещадных зерен при дроблении амфиболитов (месторождение КМА) равно 20,38%.

В работе [7] получен критический угол $\alpha^* = \arctg\left(\frac{1}{k_R}\right)$ – это угол, расположенный между плоскостью слоистости породы и относительно направления действия разрушающей нагрузки. Здесь существует вероятность образования, как кубовидных зерен, так и пластинчатых.

Опишем технологию дробления [1,2], где закон распределения направлений воздействия на материал при применении разрушающей нагрузки проистекает равномерно вплоть до критического угла α^* . Что разнится с равномерным законом распределения.

Обозначим через p и q вероятности событий $P(\alpha \in [0, \alpha^*]) = p$ и $P(\alpha \in (\alpha^*, \frac{\pi}{2}]) = q$. События $[0, \alpha^*]$ и $(\alpha^*, \frac{\pi}{2}]$ несовместимы $[0, \alpha^*] \cap (\alpha^*, \frac{\pi}{2}] = \emptyset$ и их сумма равна выборочному пространству $[0, \frac{\pi}{2}] = [0, \alpha^*] \cup (\alpha^*, \frac{\pi}{2}]$.

Исходя из этого, плотность вероятности, которая описывающая эту технологию измельчения, примет следующий вид

$$f(\alpha) = \begin{cases} \frac{p}{\alpha^*}, & 0 \leq \alpha \leq \alpha^*, \\ \frac{2q}{\pi - 2\alpha^*}, & \alpha^* < \alpha \leq \frac{\pi}{2}, \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{Причем} \quad p + q = 1 \quad (6)$$

Подставим равенство (5) в выражения и получим математическую модель выхода пластинчатых зерен, отвечающую рассматриваемой технологии дробления (5), (6).

$$\text{МП} = [\Pi_{\parallel}] \frac{(\pi \cdot p - 2\alpha^*) \cdot E(\alpha^*; k) + 2\alpha^* \cdot q \cdot E(\frac{\pi}{2}; k)}{\alpha^* \cdot (\pi - 2\alpha^*)}, \quad (7)$$

$$\text{ДП} = \text{ДП}_{\parallel} \left(1 - \left(1 - \frac{(\pi \cdot p - 2\alpha^*) \cdot \sin 2\alpha^*}{2\alpha^* \cdot (\pi - 2\alpha^*)} \right) \right), \quad (8)$$

где p и q удовлетворяют равенству (6).

Найдем вероятности p и q , которые помогут определить плотность вероятности $f(\alpha)$ для щековых дробилок. На основе работы исследователей [7] было установлено, что для среднего значения коэффициента анизотропии для известняка органогенного (Таблица 1) с пределами прочности при сжатии $k_R = 1,46$ соответствуют: критический угол $\alpha^* = \frac{\pi}{3}$, $[\Pi_{\parallel}] = 55 \text{ МПа}$, $[\Pi_{\perp}] = 85 \text{ МПа}$, $\text{МП} = 22,94\%$. Найдем k по формуле (4)

$$k = \frac{\sqrt{85^2 - 55^2}}{85} = 0,762$$

Подставим это значение в равенство (7) и с учетом (6) получим систему двух линейных уравнений с двумя неизвестными p и q .

$$\begin{cases} 3E(\frac{\pi}{3}; 0,762) \cdot p + 2E(\frac{\pi}{2}; 0,762) \cdot q = \frac{\pi \cdot \text{МП}}{3 \cdot [\Pi_{\parallel}]} + 2E(\frac{\pi}{3}; 0,762) \\ p + q = 1 \end{cases} \quad (9)$$

Основываясь на данных, взятых из таблицы функций [9] для указанных значений $E(\frac{\pi}{3}; 0,762) = 0,916$, $E(\frac{\pi}{2}; 0,762) = 1,2032$ мы получим выражение - систему:

$$\begin{cases} 2,75p + 2,41q = 2,5 \\ p + q = 1 \end{cases} \quad (10)$$

решая данную систему, получим: $p = 0,735$, $q = 0,265$.

Рассматривая вероятности событий $P\left(\alpha \in \left[0, \frac{\pi}{3}\right]\right) = p = 0,735$ и $P\left(\alpha \in \left(\frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{2}\right]\right) = q = 0,265$ из формулы (10) можем сделать вывод, что в щековых дробилках основная доля измельчаемого анизотропного материала находится в диапазоне разрушающей нагрузки $0 \leq \alpha \leq \alpha^* = \frac{\pi}{3}$, т.е. в зоне до критического угла $\alpha^* = \frac{\pi}{3}$.

Рассматривая вероятности $p = 0,735$ и $q = 0,265$ выражений (7), (8), согласно предположению (5), (6) модель выхода пластинчатых зерен при измельчении материала в дробилках, щекового типа, на этапах прогнозирования выхода лещадных зерен получим

$$МП = [П_{\parallel}] \frac{(0,735\pi - 2\alpha^*) \cdot E(\alpha^*; k) + 0,530\alpha^* \cdot E\left(\frac{\pi}{2}; k\right)}{\alpha^* \cdot (\pi - 2\alpha^*)}, \quad (11)$$

$$ДП = ДП_{\parallel} \left(1 - l \cdot \left(1 - \frac{(0,735\pi - 2\alpha^*) \cdot \sin 2\alpha^*}{2\alpha^* \cdot (\pi - 2\alpha^*)} \right) \right), \quad (12)$$

Найдем вероятности p и q , с целью определения плотности вероятности $f(\alpha)$ характерной для щековых дробилок. При этом среднее значение коэффициента анизотропии для пределов прочности при сжатии $k_R = 1,93$ амфиболитов соответствуют: критический угол $\alpha^* = \frac{\pi}{3}$, $[П_{\parallel}] = 65$ МПа, $[П_{\perp}] = 135$ МПа, $МП = 20,38\%$. Найдем k по формуле (4) выражение:

$$k = \frac{\sqrt{135^2 - 65^2}}{135} = 0,876$$

Подставим это значение в равенство (7) и с учетом (6) получим систему двух линейных уравнений с двумя неизвестными p и q .

$$\begin{cases} 3E\left(\frac{\pi}{3}; 0,876\right) \cdot p + 2E\left(\frac{\pi}{2}; 0,876\right) \cdot q = \frac{\pi \cdot МП}{3 \cdot [П_{\parallel}]} + 2E\left(\frac{\pi}{3}; 0,876\right) \\ p + q = 1 \end{cases} \quad (13)$$

Согласно расчетам, основанным на данных, приведенных в таблице функций [9] значения $E\left(\frac{\pi}{3}; 0,876\right) = 0,893$, $E\left(\frac{\pi}{2}; 0,876\right) = 1,124$ получим выражение - систему:

$$\begin{cases} 2,68p + 2,25q = 2,49 \\ p + q = 1 \end{cases} \quad (14)$$

Согласно которому, установим: $p = 0,44$, $q = 0,56$.

Значения найденных вероятностей событий $P\left(\alpha \in \left[0, \frac{\pi}{3}\right]\right) = p = 0,44$ и $P\left(\alpha \in \left(\frac{\pi}{3}, \frac{\pi}{2}\right]\right) = q = 0,56$ свидетельствуют о том, что в щековых дробилках в предположении (5), (6) основная доля дробимого анизотропного материала измельчается в диапазоне направлений разрушающей нагрузки $0 \leq \alpha \leq \alpha^* = \frac{\pi}{3}$, т.е. до критического угла $\alpha^* = \frac{\pi}{3}$.

Полагая вероятности $p = 0,44$ и $q = 0,56$ выражения (7), (8), получим отвечающую предположению (5), (6) весьма усредненную, а потому содержащую погрешности моделирования, модель выхода пластинчатых зерен при дроблении анизотропных горных пород в щековых дробилках, которой можно пользоваться на предварительных этапах прогнозирования выхода лещадных зерен:

$$МП = [П_{\parallel}] \frac{(0,44\pi - 2\alpha^*) \cdot E(\alpha^*; k) + 1,12\alpha^* \cdot E\left(\frac{\pi}{2}; k\right)}{\alpha^* \cdot (\pi - 2\alpha^*)}, \quad (15)$$

$$ДП = ДП_{\parallel} \left(1 - l \cdot \left(1 - \frac{(0,44\pi - 2\alpha^*) \cdot \sin 2\alpha^*}{2\alpha^* \cdot (\pi - 2\alpha^*)} \right) \right), \quad (16)$$

Выводы

В работе было проведено исследование зависимости формы зерен материала от конкретного способа разрушения, были изучены его физические свойства для усовершенствования процесса дробления исследуемого материала от способа дезинтеграции, был произведен расчет математической модели выхода конечного материала известняка органогенного и амфиболитов различной формы. С учетом возможных разных способов дробления материалов, наше исследование более наглядно отобразить физико-механические показатели и анизотропию, а так же структурное и текстурное строение дробимой породы материала, с учетом специфики его природы.

Полученные нами результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Промышленным горнодобывающим предприятиям позволит усовершенствовать процесс разрушения, дробления, измельчения;
2. Рассчитать разрушения давлением горных материалов для установления достоверности конечного состояния материала после дробления и прогноза этих расчетов;
3. Установить зависимости формы зерен материала от конкретного способа разрушения.

Библиографический список

1. Romanovich A.A., Amini E., Romanovich M.A. Improving the efficiency of the material grinding process IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 2020, 945 012060.
2. Romanovich A.A., Romanovich M.A., Chekhovskoy E.I. Calculation of the force required to create a directional movement of shale materials in the press roll unit Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018. 8, 131-137.
3. Алферов В.А., Пустовой К.С. Определение энергетических затрат при дроблении и измельчении материалов Строительные и дорожные машины, 1990. 5, 26-27.
4. Воробьев Н.Д., Богданов В.С., Ельцов М.Ю. Математическая модель движения мелющих тел в барабанных мельницах. Общие принципы построения // Горный журнал. 1988. 8, 116-119.
5. Гридчин А.М., Сопин М.В., Строкова В.В. Теоретические основы получения щебня кубовидной формы из анизотропных горных пород Седьмые академические чтения РААСН «Современные проблемы строительного материаловедения», 2001, 94-97.
6. Зошук Н.И., Сопин М.В. Изучение возможности получения щебня кубовидной формы из сланцевых пород Строительные материалы, 1978. 10, 33-35.
7. Редькин Г.М., Кокунько В.К., Бабин А.Е. Известия вузов 3, 113-117 (1990).
8. Романович А.А., Репин Д.В. Исследование процесса предварительного измельчения клинкера в валковом прессе Совершенствование техники и технологии измельчения материалов, 1989, 60 – 63.
9. Янке Е., Эмде Ф., Лёш Ф. Специальные функции. М.: Наука, 1977, 342 с.

References

1. Romanovich A.A., Amini E., Romanovich M.A. Improving the efficiency of the material grinding process IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 2020, 945 012060.
2. Romanovich A.A., Romanovich M.A., Chekhovskoy E.I. Calculation of the force required to create a directional movement of shale materials in the press roll unit Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018. 8, 131-137.
3. Alferov V., Pustovoy K. Determination of energy costs in the crushing and grinding of materials. Construction and road machines 5 26-27 (1990).
4. Vorob'ev N, Bogdanov V, Yeltsov M, Mathematical model of the motion of grinding bodies in drum mills. General principles of construction Gorny zhurnal 8 116-119 (1988).

5. Gridchin A., Sopin M., Strokova V. Theoretical foundations of obtaining cube-shaped crushed stone from anisotropic rocks. Seventh Academic readings of the RAACS "Modern problems of construction materials science", 2001, 94-97.
6. Zoshchuk N., Sopin M. Study of the possibility of obtaining cube-shaped crushed stone from shale rocks Building materials, 1978.10, 33-35.
7. Redkin G.M., Kokunko V.K., Babin A.E. Izvestiya vuzov, 1990. 3, 113-117.
8. Romanovich A., Repin D. Study of the process of preliminary grinding of clinker in a roll press Improvement of the technique and technology of grinding materials, 1989. 60-63.
9. Yanke E., Emde F., Lesh F. Special functions. M.: Nauka, 1977, 342 p.