

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова»

«Выставка инноваций – 2018 (весенняя сессия)»

Сборник материалов XXV Республиканской выставки-сессии
студенческих инновационных проектов

(Ижевск, 25 апреля 2018 г.)



Издательство ИжГТУ
имени М. Т. Калашникова
Ижевск 2018

УДК 62(06)
ББК 30у(2Р-6У)
В93

Редакционная коллегия

Председатель: *А. В. Щенятский*, д-р техн. наук, проф., проректор по научной и инновационной деятельности

Д. М. Маликова, начальник УНИР; *А. П. Тюрин*, заместитель начальника УНИР; *С. А. Пигалев*, директор Бизнес-инкубатора; *Э. В. Алиев*, канд. техн. наук, доц. кафедры «Управление качеством»; *С. А. Девятериков*, канд. техн. наук, доц. кафедры «Теоретическая механика и теория машин и механизмов»; *С. А. Мурашов*, канд. техн. наук, доц. кафедры «Приборы и методы измерений, контроля, диагностики»; *О. В. Жуйкова*, канд. пед. наук, зав. кафедрой «Инженерная графика и технология рекламы»; *Е. А. Наймушина*, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры «Физика и оптотехника»; *А. В. Пилушенко*, канд. филос. наук, доц. Кафедры «Философия»; *Д. Н. Попов*, канд. техн. наук, доц. кафедры «Теплоэнергетика»; *И. А. Пудов*, канд. техн. наук, доц. кафедры «Геотехника и строительные материалы»; *Н. Г. Соколова*, д-р экон. наук, проф. кафедры «Экономика, технология и управление коммерческой деятельностью»; *К. С. Чернышев*, ст. преподаватель кафедры «Программное обеспечение»

Ответственный за выпуск *А. П. Тюрин*, зам. начальника УНИР

«Выставка инноваций – 2018 (весенняя сессия)» [Электронный ре-
в93 сурс] : сборник материалов XXV Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов, Ижевск, 25 апреля 2018 г. – Ижевск : Издательство ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2018. – 211 с. – 4,4 Мб. – Систем. требования: Acrobat Reader 6.0 и выше.

ISBN 978-5-7526-0799-8

Сборник составлен из статей, раскрывающих содержание научных и инновационных проектов аспирантов, магистрантов, молодых ученых и студентов ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова», выполненных в области приоритетных направлений развития науки и техники. Очное итоговое мероприятие проходило 25 апреля 2018 года. Экспертная оценка и рецензирование проектов выполнялись утвержденной экспертной комиссией.

УДК 62(06)
ББК 30у(2Р-6У)

ISBN 978-5-7526-0799-8

© ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2018
© Оформление. Издательство ИжГТУ
имени М. Т. Калашникова, 2018

Е. А. Бакаева, студентка, e-mail: lizabakaewa638@gmail.com

Е. С. Иванов, студент

В. А. Ившин, студент

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Утилизация техногенных промышленных отходов при производстве строительных материалов

В статье приведен обзор техногенных отходов, упор сделан на экологический аспект и на основные свойства материалов. Свойства техногенных отходов определяют возможность их использования в качестве сырьевых материалов при производстве строительных материалов и изделий, рассмотрена возможность получения на основе отходов производства дисперсных модификаторов для материалов строительного назначения.

Ключевые слова: фторангидрит, утилизация, отходы производства, карбосидерит, модификаторы.

В промышленности в качестве попутных продуктов образуется огромное количество техногенных отходов, в том числе экологически опасных, степень утилизации которых неудовлетворительна. Необходимо создать условия для перехода важнейших производственных технологий, таких как химическая, металлургическая, горнорудная и другие, на такой технический уровень, при котором образующиеся отходы представляли бы собой готовое сырье или полуфабрикаты, которые можно использовать в других отраслях промышленного производства. Переоснащение и модернизация существующих производств, рассмотрение отходов в качестве вторичной сырьевой базы позволит значи-

тельно снизить экологическую нагрузку в местах скопления техногенных отходов и сократить по возможности добычу природных ресурсов.

Строительная индустрия является наиболее перспективной отраслью потребления техногенных отходов. Применение их в строительстве позволит обеспечить высокую степень утилизации таких отходов и значительно сэкономить материально-трудовые и топливные ресурсы. Перспективными для строительной индустрии являются гипсосодержащие отходы, разновидностей которых более 50: фосфогипс и фосфополугидрат, борогипс, фторангидрит и фторгипс, цитрогипс, гидролизный гипс, кремнегипс и другие.

Данные виды добавок в большем объеме обладают свойствами, которые характерны гипсовым вяжущим. Обработка таких вяжущих с целью применения для изготовления материалов строительного назначения зачастую заключается в помоле и обжиге, однако некоторые из рассматриваемых отходов могут быть использованы в качестве сырьевого компонента только после этапа дробления и последующего помола.

В качестве основного материала при изготовлении модельных составов использовали синтетический ангидрит (фторангидрит) [1], который применяли в порошкообразной форме, основу которого составляет безводная форма сульфата кальция, фтористый кальций и карбонат кальция, химический и гранулометрический составы представлен в табл. 1, 2.

Таблица 1. Химический состав фторангидрита

CaO	CaF ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃
35,0÷36,5	2,2÷5,0	2,6÷3,4	0,5÷0,7	0,2÷0,95	46,65÷59,5

Исходя из химического и гранулометрического состава большая часть техногенного отхода, более 70 %, представлена частицами с размером менее 2,5 мм, среди них преобладают частицы порошка с размером менее 1,25 мм (более 62 %). Известно, что техногенные добавки с высокой степенью дисперс-

ности и определенным химическим средством к вяжущему могут выступать в качестве активных компонентов при проектировании оптимальных составов композитов.

Таблица 2. Гранулометрический состав

Размер сита, мм	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	Менее 0,14
Частный остаток на сите, %	0,7	1,9	6,6	18,0	10,0	18,8	11,6	26,0	6,6
Полный остаток на сите, %	0,7	2,6	9,2	27,2	37,2	56,0	67,6	93,4	100,0

В качестве ультрадисперсной добавки с целью структурирования вяжущего вводили карфосидерит $\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (железистый кек), химический состав приведен в табл. 3.

Таблица 3. Химический состав карфосидерита

Химические компоненты	Fe_2O_3	H_2O	SO_3
Содержание, %	49,83	16,86	33,31

Для определения возможности модификации вяжущего на основе фторангидрита совместно с водой затворения вводился карфосидерит, при этом отмечен интенсивный процесс гидратации по поверхности вяжущего.

Как видно на рис. 1, а, б, данный техногенный отход производства обладает значительной степенью дефектности частиц, что способствует формированию кристаллов двуводного гипса с образованием дендритной структуры, основой которой являются частицы ультрадисперсного вещества и кристаллогидраты гипса.

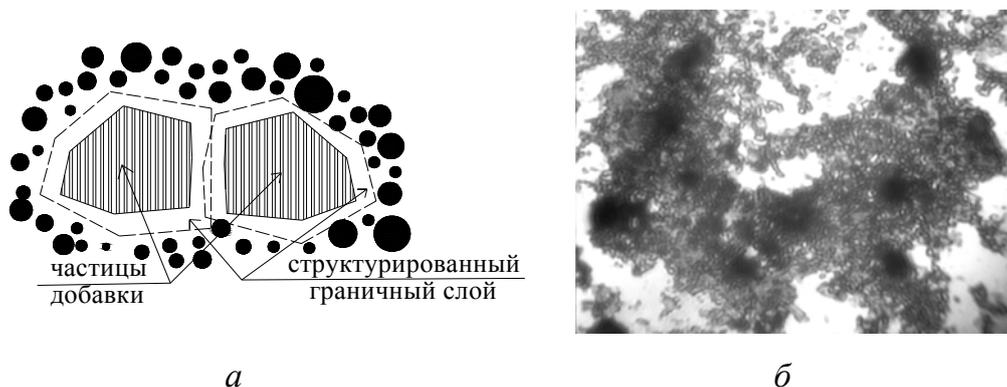


Рис. 1. Элементы самоорганизации ангидритового вяжущего:
 модель взаимодействия (а), с введением карфосидерита,
 200-кратное увеличение (б)

Процессы, происходящие по поверхности минеральных частиц добавки, позволяют сделать вывод о том, что они служат подложкой для гидратации гипса, при этом формируются плотные прочные образования, что позволяет сделать вывод о повышении физико-механических характеристик материала на основе ангидрита с применением в качестве модификаторов тонкомолотых минеральных добавок на основе отходов производства.

Формирование плотной структуры приводит к повышению физико-механических характеристик материала на основе ангидрита при применении в качестве модификаторов тонкомолотых минеральных добавок.

Таким образом, использование техногенных отходов в качестве вяжущего, а также в качестве модифицирующих добавок достаточно перспективно с точки зрения получения материалов строительного назначения на их основе.

Список литературы

1. ТУ 6-00-05807960-88-92. Нейтрализованный отход производства фтористого водорода (фторангидрит). Технические условия.
2. Федорчук, Ю. М. Техногенный ангидрит, его свойства, применение. – Томск: ТГУ, 2003. – 108 с.
3. Бондаренко, С. А. Модифицированное фторангидритовое вяжущее и строительные материалы на его основе : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск : Челябинский гос. ун-т, 2008. – 21 с.

О. П. Богдан, канд. техн. наук, доц., e-mail: pmkk@istu.ru

Ю. С. Дудина, аспирант

Н. А. Бабайлов, магистрант

А. Д. Широбокова, студентка

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»

Повышение достоверности оценки интенсивности ультразвукового излучения медицинского диагностического оборудования

В работе представлены методика и устройство оценки интенсивности ультразвукового излучения медицинского диагностического оборудования, основанные на оценке размеров кавитационного пузырька, находящегося в состоянии равновесия в воде в акустическом поле исследуемого датчика. Показан способ повышения точности и достоверности оценки интенсивности ультразвукового излучения.

Ключевые слова: интенсивность ультразвукового излучения, диагностический сканер, газовый пузырек, кавитация, безопасность.

Безопасность ультразвуковой (УЗ) диагностики является сложным вопросом. Одной из основных характеристик УЗ-излучения, определяющих возможность ее применения в диагностике или других областях медицины, является интенсивность [1]. В настоящее время существует ряд документов, регламентирующих допускаемые уровни интенсивности УЗ-диагностического оборудования, например, согласно ИЕС [2], интенсивность УЗ-излучения диагностических сканеров не должна превышать 100 мВт/см^2 , а согласно FDA [3] – 720 мВт/см^2 , а в [4] даны рекомендации по безопасности ультразвуковой диагностики, которые используют разработчики УЗ-оборудования и врачи.

Для оценки интенсивности УЗ-излучения используют метод измерения радиационного давления либо калориметрический метод, но оба этих метода применимы лишь для непрерывного излучения [1], в то время как в диагностических сканерах используют импульсное фокусированное излучение, что делает невозможным их использование для измерения диагностического излучения. В связи с этим разработка новых методов оценки интенсивности УЗ-излучения и совершенствование существующих является актуальной задачей.

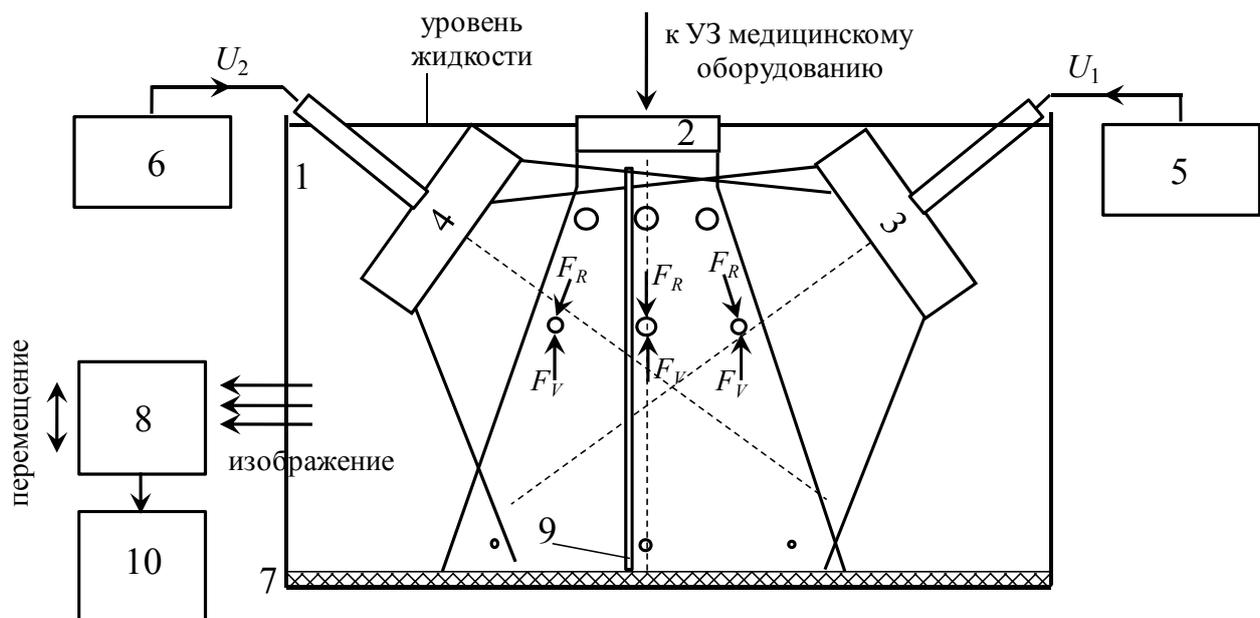
Целью работы является усовершенствование методики и устройства оценки интенсивности УЗ-излучения медицинского диагностического оборудования, основанных на оценке размеров кавитационного пузырька, находящегося в состоянии равновесия в воде в акустическом поле исследуемого датчика.

Разработано устройство для оценки интенсивности УЗ-излучения, описанное в [5, 6]. Данное устройство основано на формировании в поле исследуемого датчика газовых пузырьков посредством акустической стабильной кавитации, создаваемой низкочастотным преобразователем (формирователем пузырьков), в воде. После выключения формирователя пузырьков в поле исследуемого датчика остаются в состоянии равновесия только пузырьки, размер которых соответствует интенсивности УЗ-излучения. Состояние равновесия пузырьков достигается за счет равенства действующих на них выталкивающей силы F_V и силы радиационного давления F_R , обусловленной УЗ-излучением.

Равновесные газовые пузырьки регистрируются с помощью фотоаппарата с высоким разрешением, полученные изображения обрабатываются специализированным программным обеспечением с целью оценки размеров и глубины их залегания и последующим определением интенсивности УЗ-излучения [5, 6]. Это устройство имеет ограничение из-за узкого диапазона радиусов равновесных пузырьков, формируемых в жидкости, и недостаточного их количества в УЗ-поле исследуемого датчика, что снижает чувствительность и достоверность измерения.

Данный недостаток устраняется путем добавления в устройство дополнительного формирователя пузырьков, работающего на другой частоте (рисунок).

Использование двух формирователей пузырьков, работающих на разных частотах (высокочастотный $f_1 = 880$ кГц и низкочастотный $f_2 = 40$ кГц), позволяет существенно увеличить количество кавитационных пузырьков и расширить диапазон их размеров за счет интерференции двух мощных разночастотных колебаний. Второй формирователь пузырьков усиливает работу первого формирователя пузырьков, а использование высокой частоты УЗ-излучения ($f_1 = 880$ кГц) увеличивает диапазон равновесных газовых пузырьков, что весьма актуально при оценке выходной интенсивности излучения УЗ-диагностического сканера. В таблице представлены результаты сравнения работы устройства оценки интенсивности УЗ-излучения с одним и двумя формирователями пузырьков на примере диагностического сканера EDAN U50 (конвексный датчик, частота $f = 2,5$ МГц).



Устройство оценки интенсивности УЗ-излучения: 1 – емкость с жидкостью, 2 – исследуемый УЗ излучатель, 3 – формирователь пузырьков высокочастотный, 4 – генератор синусоидальных сигналов низкочастотный, 5 – высоковольтный высокочастотный генератор, 7 – высоковольтный низкочастотный генератор, 8 – прибор для фотосъемки, 9 – линейка, 10 – персональный компьютер со специализированным программным обеспечением

Сравнение работы устройства оценки интенсивности УЗ-излучения при использовании различных формирователей пузырьков

Количество формирователей пузырьков	1 формирователь пузырьков ($f = 880$ кГц)	1 формирователь пузырьков ($f = 40$ кГц)	2 формирователя пузырьков ($f_1=880$ кГц, $f_2=40$ кГц)
Количество пузырьков при включенном формирователе	350–400	30–50	500–600
Диапазон радиусов пузырьков при включенном формирователе, мм	90–100	132–147	95–187
Количество пузырьков при выключенном формирователе	20–25	7–11	25–35
Погрешность измерения интенсивности УЗ-излучения, %	13–15	18–20	10–12

Таким образом, использование в устройстве оценки интенсивности УЗ-излучения дополнительного формирователя пузырьков, работающего на другой частоте, позволяет расширить диапазон формируемых стабильной кавитацией пузырьков, количество которых увеличивается в поле исследуемого преобразователя после отключения формирователей пузырьков, при этом позиционирование их в пространстве становится равномернее, что позволяет получить более полную картину распределения интенсивности излучения в пространстве и повышает достоверность и точность измерения, снижая погрешность.

Список литературы

1. Ультразвук в медицине. Физические основы применения / под ред. К. Хилла ; пер. Л. Р. Гаврилов, В. А. Хохлова, О. А. Сапожников. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 544 с.
2. Standard means for the reporting of the acoustic output of medical diagnostic ultrasonic equipment: IEC 61157(2007). 16.08.2007. – IEC Publication 61157, 2007. – 36 p.

3. Guide for measuring and reporting acoustic output of diagnostic ultrasound medical devices: FDA 510(k). Rockville, MD: Center for Devices and Radiological Health, US FDA, 1999.

4. Medical Ultrasound Safety. The AIUM Executive Office is located at 14750 Sweitzer Ln, Suite 100, Laurel, MD 20707-5906, 2009, 63 p.

5. Экспериментальная оценка интенсивности ультразвукового излучения медицинского оборудования на основе анализа размеров равновесных газовых пузырьков в жидкости / О. В. Муравьева, О. П. Богдан, Д. В. Злобин, В. Н. Милич, С. И. Масленников, Ю.С. Дудина // Приборы и техника эксперимента. – 2017. – № 1. – С. 136–141.

6. *Муравьева О. В., Богдан О. П., Милич В. Н., Масленников С. И.* Устройство для определения параметров ультразвукового преобразователя. Патент на полезную модель № 140996 от 27.05.2014.

А. А. Буторина, студентка, e-mail: nasta_yfcnz@mail.ru

С. В. Варфаламеева, студентка, e-mail: lana.varfalameeva@mail.ru

С. Г. Шуклин, д-р хим. наук, доц.

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Анализ применения наноалмазов для нанесения покрытия гальваническим способом

Рассмотрены процессы нанесения защитных покрытий гальваническим методом, при котором происходит образование специальной защитной поверхности под воздействием электрического тока из электролита на любую электропроводящую поверхность с целью придать изделию какие-либо свойства. Показано два основных вида гальваники: хромирование и цинкование. Проанализировано влияние наноалмазов на физико-химические свойства гальванических покрытий. Применение гальваники с добавлением наноалмазов оказывает большое влияние на качество и конкурентоспособность товаров.

Ключевые слова: гальваническое покрытие, наноалмаз, цинкование, хромирование, ультрадисперсные кристаллы (УДК).

Гальваническое покрытие – это поверхностный слой металла, образующийся на обрабатываемой детали во время электрохимических процессов. Суть гальваники заключается в получении защитного слоя на поверхности, который образуется в результате проникновения молекул металла в поверхностном слое обрабатываемой детали. Данный слой препятствует развитию коррозионных процессов [6].

В процессе гальваники участвуют: обрабатываемая деталь, электролит, два электрода и электрический ток (рис. 1). Электролит – это жидкость, которая

проводит ток, в результате чего выделяются молекулы металла, оседающие на поверхности обрабатываемого изделия и образующие на ней тонкую пленку [3].

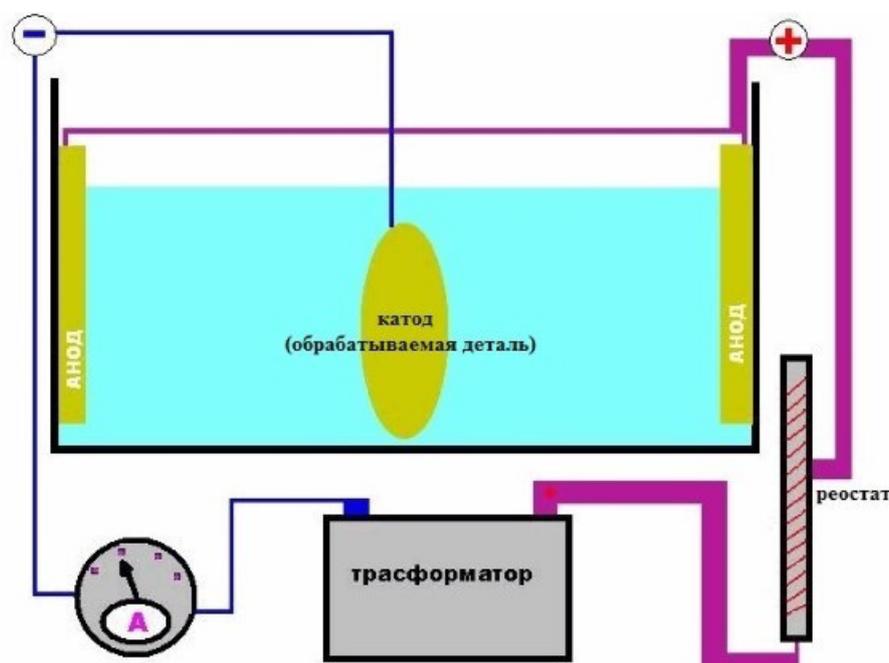


Рис. 1. Схема гальванической линии

Применение гальваники оказывает большое влияние на качество и конкурентоспособность товаров. При большом количестве потребителей и относительно больших доходах предприятий обработка поверхности на данный момент является одним из важнейших двигателей экономики и способствует ее росту на 6–7 %. Гальванические предприятия ожидают в будущем рост востребованности, что связано с улучшением технологий, свойств и качества покрытий [5].

В настоящее время все большее распространение получают композиционные электрохимические покрытия, содержащие в своей структуре инородные микроскопические частицы. При этом появляется возможность существенного изменения полезных свойств покрытий при незначительных затратах. Одним из примеров добавления микроскопических частиц является применение наномазов и алмазной шихты [9].

Алмаз является выдающимся материалом во многих отношениях, и наноалмаз, имеющий идентичное строение, обретает большинство свойств массивного алмаза, которые присутствуют и в наномасштабе. Эти свойства включают в себя высокую твердость и модуль Юнга, высокую теплопроводность и электросопротивление, химическую стабильность и стойкость наноалмаза к неблагоприятным условиям окружающей среды. В связи с этим наноалмазы используются в гальванике, чтобы придать материалам свои свойства.

При производстве наноалмазов возможны различные целенаправленные изменения их функциональных покрытий и их улучшение различными элементами в форме подвижных ионов, металлооксидных и других поверхностных структур, которые расширяют структурные характеристики [2]. Основные характеристики модифицированных наноалмазных порошков приведены в табл. 1.

Таблица 1. Диапазон характеристик модифицированных порошков наноалмазов

Характеристика	
Содержание алмазной фазы, wt.%	40...99
Содержание общего углерода, wt.%	65...95
Содержание неуглеродных (зольных) компонентов, wt.%	0,1...10
Удельная поверхность*, m^2/g	130...470
Адсорбционная емкость по ионам электролитов, mg-equiv./g	0,1...3,5 0,5...25
Электрокинетический потенциал, mV	От -100 до +100
Термостабильность на воздухе, K	423...1573
Удельное электросопротивление, Ω/cm	$10^2...10^{14}$

* Удельная поверхность определения методом БЭГ (Бриннауера – Эммета – Теллера)

Получение наноалмазных гальванических пленок позволит улучшить свойства защитных покрытий. В наноалмазах промышленного производства присутствуют агрегаты размером 300–1000 нм, которые слишком велики для гальваники, поэтому при приготовлении электролита необходимо диспергиро-

вание агрегатов алмазов. Способ получения включает в себя введение в электролит частиц наноалмазов размерностью меньше 200 нм [8].

Для исследования были выбраны два вида гальванических покрытий: хромирование и цинкование.

Электролитическое хромирование является наиболее распространенным процессом в гальванике. Это связано с его уникальными свойствами, которые применяются во многих отраслях промышленности. Для улучшения прочностных свойств детали покрывают толстым слоем хрома. Но хромирование имеет ряд отрицательных свойств: низкая рассеивающая способность, низкий выход по току металла, неравномерность распределения, неоднородность цвета и блеска по поверхности и краевые эффекты при увеличении толщины защитного покрытия.

Для сведения этих отрицательных качеств к минимуму применяется технология нанесения композиционных хром-алмазных покрытий с применением кластерных наноалмазов, что позволяет улучшить физико-химические свойства и снизить толщину гальванического покрытия [7].

Введение наноалмазов в электролит в виде водной суспензии позволяет создать устойчивую высокодисперсную суспензию даже в среде сильных электролитов. Наноалмазы можно будет держать во взвешенном виде благодаря газовыделению и тепловой конвекции в процессе получения металл-алмазных покрытий. Из-за малых размеров частиц наноалмазов, достаточно плотного и равномерного распределения их в покрытии возможно достичь при очень малом их содержании – десятые доли процента [1].

В виде электролитов с наноалмазами при хромировании применяют электролиты твердого хромирования. Электролит с содержанием CrO_3 , H_2SO_4 является наиболее оптимальным по качеству покрытий и простоте работы. В хромовом электролите приемлемое количество содержания наноалмазов составляет до 30 г/л [1].

При таком методе хромирования отрицательные характеристики, свойственные хромированию без добавления наноалмазов, сводятся к минимуму. Ско-

рость осаждения увеличивается в 3–5 раз, слой нанесения покрытия уменьшается в 2–3 раза, покрытие становится более равномерным, что приводит к уменьшению затрат на получение растворов для ванны. Также увеличивается износостойкость изделия в 3–6 раз [2].

В гальванике также активно используется цинкование. Цинк имеет не только устойчивость к атмосферным воздействиям, но и, являясь анодным металлом, обеспечивает деталям повышенную механическую и электрохимическую защиту [6].

При электролизе осуществляется растворение цинка, обрабатываемая поверхность детали осаждается положительно заряженными ионами, вследствие чего на поверхности изделия формируется слой цинка толщиной 4–20 мкм, который отличается высокой устойчивостью к коррозии [1].

Самым эффективным электролитом при цинковании является состав, содержащий оксид цинка – ZnO , гидроксид натрия – $NaOH$ и наноалмазы до 10 г/л. В электролит вводят наноалмазы дисперсной фазы в виде твердых субмикрочастиц и последующее диспергирование электролита до состояния высокодисперсного метастабильного коллоида воздействием ультразвуковых колебаний [1].

Увеличение концентрации наноалмазов в электролите ведет к возрастанию мелкозернистости получаемого осадка. При получении Zn-алмазного покрытия с помощью стандартного хромотирования стойкость к коррозии значительно увеличивается (табл. 2) [1].

При хромировании с наноалмазами сравнительно увеличивается износостойкость и микротвердость изделия, а коэффициент трения уменьшается, что показано в табл. 3.

Таблица 2. Коррозионная стойкость (потеря массы, mg/dm^2) покрытий в климатической камере по ГОСТ 9.308–89 в нейтральном соляном тумане, полученных из электролита состава, g/l : ZnO – 10, NaOH – 100, органические добавки – 4, УДА – 8; толщина покрытия – 6 μm

Часы	Незащищенная сталь	Чисто Zn покрытие (сделано в Германии, хлоридный электролит 7,5 μm)	Кадмиевое покрытие, 6 μm	Zn-УДА-покрытие	Zn-УДА-покрытие с хромированием	Zn-УДА-покрытие с фосфатированием
60	127	40	14	24	–	–
150					Начало коррозии по краям у одного из шести образцов	–
200					У пяти образцов нет коррозии	–
350						Начало коррозии по краям у трех образцов из шести

Таблица 3. Сравнительная характеристика хромирования с добавлением наноалмазов и без добавления

Покрытие	Содержание наноалмазов в электролите, g/l	Износостойкость		Коэффициент трения	Микротвердость, $\text{кг}/\text{мм}^2$
		Износ покрытий, μm	Износ контртела, μm		
Хром без дисперсной фазы	–	20,2	27,0	0,15	610

Покрытие	Содержание наноалмазов в электролите, г/л	Износостойкость		Коэффициент трения	Микротвер- дость, кг/мм ²
		Износ по- крытий, μm	Износ контртела, μm		
Хром с нано- алмазами	2	8,9	29,0	0,14	710
	4	4,8	26,5	0,10	920
	10	2,9	25,4	0,09	1480
	16	2,0	24,0	0,09	2100
	20	5,3	30,4	0,13	1900
	50	7,7	27,2	0,14	1630

В процессе цинкования при добавлении наноалмазов (наиболее продуктивным является добавление 6 г/л) значительно уменьшается убыль массы. Изделие с наноалмазным покрытием подвергается коррозии гораздо меньше, чем при обычном цинковании поверхности [4]. Данные приведены в табл. 4.

Таблица 4. Влияние добавки наноалмазов на коррозионную стойкость цинк-алмазного покрытия

Плотность тока, i , А/дм ²	Пере- мешивание	Убыль массы образцов, $\Delta M \cdot 10^{-3}$, г					Цвет по- крытия до коррозион- ного испы- тания	Цвет по- крытия после кор- розионно- го испы- тания	Примечание
		Без УДА	2 г/л УДА	4 г/л УДА	6 г/л УДА	10 г/л УДА			
2	–	4,7					Полубле- стящий или золотистый	Темно- серый с белым налетом	Коррозия, в ос- новном, по краям, поражено 20% поверхности
2	–	5,0						и следа- ми кор- розии	Равномерная кор- розия по всей по- верхности

Плотность тока, i , А/дм ²	Пере-мешивание	Убыль массы образцов, $\Delta M \cdot 10^{-3}$, г					Цвет покрытия до коррозионного испытания	Цвет покрытия после коррозионного испытания	Примечание
		Без УДА	2 г/л УДА	4 г/л УДА	6 г/л УДА	10 г/л УДА			
2	–		3,2				«Мокрый асфальт»	Коррозия по краям, 30% поверхности	
2	–		2,8					Слабая коррозия, 16% поверхности	
2	+			2,6			Темно-серый	Коррозия по краям, 19 % поверхности	
2	+			2,8				Темно-серый с белым налетом	
2	+				2,4		Темно-серый	Слабая равномерная коррозия поверхности	
2	+				0,4			и следы коррозии	
2	+					4,0	Темно-серый	Неравномерная коррозия, 40% поверхности	
2	+					3,7		Неравномерная коррозия, 38 % поверхности	

В проведенном анализе было выявлено, что при добавлении частиц наноалмазов гальванический элемент значительно улучшает все свои основные свойства. Также уменьшается толщина наносимого защитного слоя, что говорит о меньших расходах электролита, увеличивается скорость протекания электролиза. Все это доказывает, что добавление наночастиц в электролит эффективность гальванических покрытий увеличивается.

Список литературы

1. *Буркат, Г. К.* Ультрадисперсные алмазы в гальванотехнике / Г. К. Буркат, В. Ю. Долматов // Физика твердого тела. – 2004. – Т. 46, вып. 4.
2. *Витязь, П. А.* Состояние и перспективы использования наноалмазов детонационного синтеза в Беларуси // Физика твердого тела. – 2004. – Т. 46, вып. 4.
3. Гальваника и гальваническое покрытие: оборудование, виды, назначение. [Электронный ресурс]. – URL: <http://met-all.org/obrabotka/himicheskaya/galvanika-galvanicheskoe-pokrytie-oborudovanie.html> (дата обращения: 07.04.2018).
4. Гальваническое цинкование [Электронный ресурс]. – URL: <http://bpm-t.com/tehnologii/galvanicheskoe-ocinkovanie> (дата обращения: 12.04.2018).
5. *Елинек, Т. В.* Успехи гальванотехники. Обзор мировой специальной литературы за 2005–2006 годы // Перевод из немецкого журнала Galvanotechnik. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.galvanicrus.ru/lit/obzor.php?y=2005-2006> (дата обращения: 06.04.2018).
6. *Исакова, А.* Особенности получения гальванического покрытия и его виды // [Электронный ресурс]. – URL: <https://gidpokraske.ru/spetsialnye-materialy/obrabotka-metallicheskih-predmetov/pokrytie-galvanicheskoe.html#i-5> (дата обращения: 06.04.2018).
7. Перспективы наноалмазов. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rough-polished.com/ru/analytics/31816.html> (дата обращения: 07.04.2018).
8. Пат. 2088689 Российская Федерация. Способ приготовления электролита для получения композиционных покрытий на основе металлов / Петров И. Л. ; заявл. 05.08. 2007, опубл. 27.09.2009.
9. Ультрадисперсные алмазы в гальванических покрытиях на основе благородных и цветных металлов. [Электронный ресурс]. – URL: http://sktb-technolog.ru/au-zn_nanodiamonds/ (дата обращения: 09.04.2018).

Р. Г. Галимьянов, студент, e-mail: rammmm66@gmail.com;

С. И. Тарасов, студент

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Разработка энергоблока на древесном генераторном газе

Процесс обработки и переработки древесины во всех производствах связан с получением большого количества отходов. Так, при рубке и вывозке древесины из леса около 20 % древесного сырья составляют отходы в виде ветвей, пней, корней. Ежегодное количество отходов и неделовой древесины по стране составляет около 300 млн м³. Цель работы: разработка энергоблока на древесном генераторном газе, который позволит перерабатывать биомассы древесины методом газификации с получением чистого топливного газа для последующего его использования.

Ключевые слова: генераторный газ, энергоблок, древесные отходы, переработка древесины, газогенератор.

В настоящее время процессы заготовки и переработки всей биомассы дерева на предприятиях лесного комплекса развиты слабо. В связи с изложенным особую значимость приобретают технологические процессы, обеспечивающие рациональное использование всей биомассы дерева и отходов переработки древесины. Они позволяют комплексно решать экологические и экономические проблемы предприятий лесного комплекса.

Если после лесозаготовительных и деревообрабатывающих работ остается вторичное сырье, не следует его выбрасывать или оставлять на месте работ в лесу, что приводит к ухудшению экологической обстановки местности, а нужно

правильно использовать имеющийся ресурс. Это принесет дополнительную прибыль и уберезет лес от захламления вторсырьем.

Предприниматели зачастую отказываются от переработки отходов, потому что на утилизацию нужно затратить большие деньги. Не в каждой стране существуют предпосылки для правильной переработки вторсырья, которое может использоваться в биологической энергетике.

Нужно приспособлять современную технику под работу в области лесной промышленности, тогда вторсырье будет проходить нужную обработку и находить применение в других сферах.

Существуют различные виды газогенераторов, с различными характеристиками и конструкторскими особенностями, но подходящими для переработки древесины используются газогенераторы обращенного [1] (опрокинутого) процесса газификации (рис. 1).

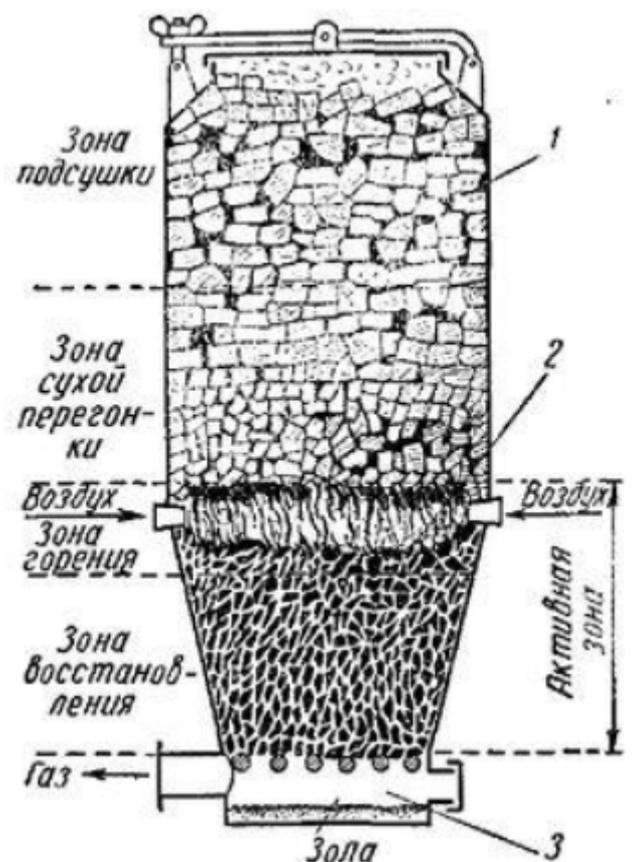


Рис.1. Газогенератор обращенного процесса

Газогенераторы обращенного процесса предназначены для сжигания смолистого топлива – дров, древесного угля и отходов. В таких генераторах воздух подается в среднюю по высоте часть, в которой и происходит процесс горения. Отбор образовавшихся газов осуществляется ниже подвода воздуха. Зоны сухой перегонки и подсушки располагается выше активной зоны, поэтому влага топлива и смолы не могли выйти из газогенератора, минуя активную зону. Проходя через зону с высокой температурой, продукты сухой перегонки подвергаются разложению, в результате чего количество смол в выходящем из генератора газе незначительно, что в дальнейшем можно использовать в двигателях внутреннего сгорания и газовых турбинах, а также способствует использованию более простых фильтров очистки газа.

Рассмотрим устройство газогенераторной установки [2] на примере рис. 2.

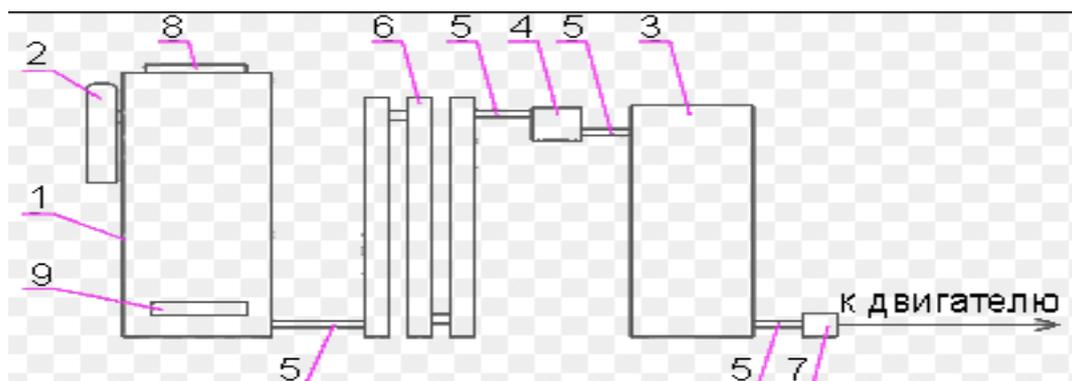


Рис. 2. Схема газогенераторной установки: 1 – корпус; 2 – бункер; 3 – фильтр «циклон»; 4 – фильтр тонкой очистки; 5 – трубопроводы; 6 – вентилятор; 7 – фильтр грубой очистки + охладитель газа; 8 – смеситель газа с воздухом; 9 – колосниковая решетка

Принцип работы газового генератора

Образование генераторного газа происходит при ограниченном доступе воздуха как результат неполного сгорания твердого топлива. Внутреннее пространство работающих газовых генераторов разделяется на четыре зоны:

– подсушка; верхняя часть бункера, в которой поддерживается температура 150–200 °С;

– сухая перегонка; средняя часть бункера, в которой температура – 300–500 °С. Здесь нет доступа воздуха, поэтому топливо обугливается, выделяются кислоты, смолы и иные продукты перегонки;

– горение; располагается в поясе фурм. В этой зоне при температуре 1100–1300 °С образуется из продуктов сухой перегонки и обугленного топлива СО;

– восстановление. Находится между колосниковой решеткой и зоной горения. Здесь через раскаленный уголь проходит СО², соединяется с частицами углерода. В результате образуется окись углерода. Из смеси угарного газа, метана, водорода, спиртов СН³ОН, С²Н⁵ОН и других в активной камере происходит образование генераторного газа. В охладительных фильтрах он приобретает температуру окружающей среды и проходит очистку от взвешенных частиц (пыли, золы, уксусной и муравьиной кислот).

Заключение

В данной статье было рассказано о методе рационального использования древесных отходов путем использования газогенератора для выработки чистого генераторного газа. Этот газ можно использовать для получения электроэнергии и тепловой энергии на различных установках, а также в двигателях внутреннего сгорания. Энергоблок на древесном генераторном газе поможет уберечь лес от захламления, а также решит проблему местной экологии и позволит рационально использовать достояние лесного хозяйства во благо природы и человечества.

Список литературы

1. *Колеров, Л. К.* Газомоторные установки. – М. ; СПб. : Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1951. – 240 с.

2. *Токарев, Г. Г.* Газогенераторные автомобили. – М. ; СПб. : Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1955. – 104 с.

А. Н. Гуменюк, магистрант, e-mail: aleksandrgumenyuk2017@yandex.ru

Ф. Е. Шевченко, бакалавр

А. Н. Жуков, бакалавр

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Универсальный состав для модификации строительных материалов на основе технической серы

В статье рассмотрена композитная система, получаемая на основе растворителя и технической серы. Разработка композитного и унифицированного модификатора основана на концептуально ином подходе по сравнению с предыдущими технологиями приготовления составов. Методика изготовления базовой системы разрабатывалась с адаптацией к производственным требованиям, а также с учетом производственных мощностей. Произведен анализ влияния разработанной композиционной системы на цементную и гипсовую матрицу. Продемонстрирована универсальность данной разработки и ее унифицированность для производства пропитки и покрытия. Установлено, что при введении данной системы в вяжущие гидравлического и воздушного твердения у конечных материалов повышается прочность, водостойкость, плотность и коррозионная стойкость.

Ключевые слова: техническая сера, системы на основе растворителя, гипс, бетон, золь, структуроуправляющий агент.

В условиях РФ имеется острая нехватка универсальных и унифицированных продуктов способных работать в различных климатических условиях и при различных видах агрессивной среды. В настоящее время проводится активная деятельность по повышению энергоэффективности и снижению материалоемкости производства, что обуславливает применение отходов производства в со-

временных разработках как в качестве основного сырьевого продукта, так и в качестве модифицирующих добавок.

Наша страна находится в первой тройке мировых лидеров по добыче нефти и газа, по данным ОПЕК на 2016 год в России добывается 10111,7 тысяч баррелей нефти в день. Общие перерабатывающие возможности сформированы 32 крупными нефтеперерабатывающими заводами (НПЗ), а также 80 менее крупными НПЗ [1, 2].

При очистке сырой нефти и природного газа в процессе Клауса выделяется большое количество технической серы, это связано с высоким содержанием серы в добываемых углеводородах. Получаемая сера хранится в отвалах и специальных крытых ангарах.

В связи с тем что большая часть производимой серы остается на хранении в отвалах, это приводит к увеличению экологической нагрузки на окружающую среду и увеличению расходов НПЗ на обустройство мест для ее хранения. Решением проблемы складирования технической серы находится в тенденции и всеобщем увлечении последних 15–20 лет нано- и микроразмерными объектами применимо к различным производственным процессам.

Наиболее эффективным и производственно применимым является синтез суспензии на основе технической серы по золь-гель-методу. Вариабельность этого метода является его основным преимуществом и дает широчайший спектр возможностей для разработки на данной базе состава для производства универсальных продуктов [3].

Таким образом, актуальной становится разработка составов на основе технической серы, при производстве которых используют относительно дешевые материалы и способы получения активных компонентов, а также изучение механизма влияния разработанных составов на структуру и свойства материалов строительного назначения.

Применяемая в данном исследовании техническая сера является побочным продуктом разделения и термической обработки сырой нефти в процессе Клауса. Получаемая в данном процессе техническая сера обладает следующими свойствами

ми: высокой химической стойкостью, водостойкостью, высокой плотностью, морозостойкостью, а также проявляет свойства экранирования от радиации.

В данной исследовательской работе при оптимизации компонентного состава многофункционального модификатора, основным компонентом которого является техническая сера [4], учитывались особенности молекулярного строения активного компонента и форма частиц (рис. 1). При этом особое внимание уделялось подбору оптимального варианта механического получения дисперсии, для этого было проведено исследование размеров частиц серы на лазерном анализаторе, результаты представлены на рис. 2.

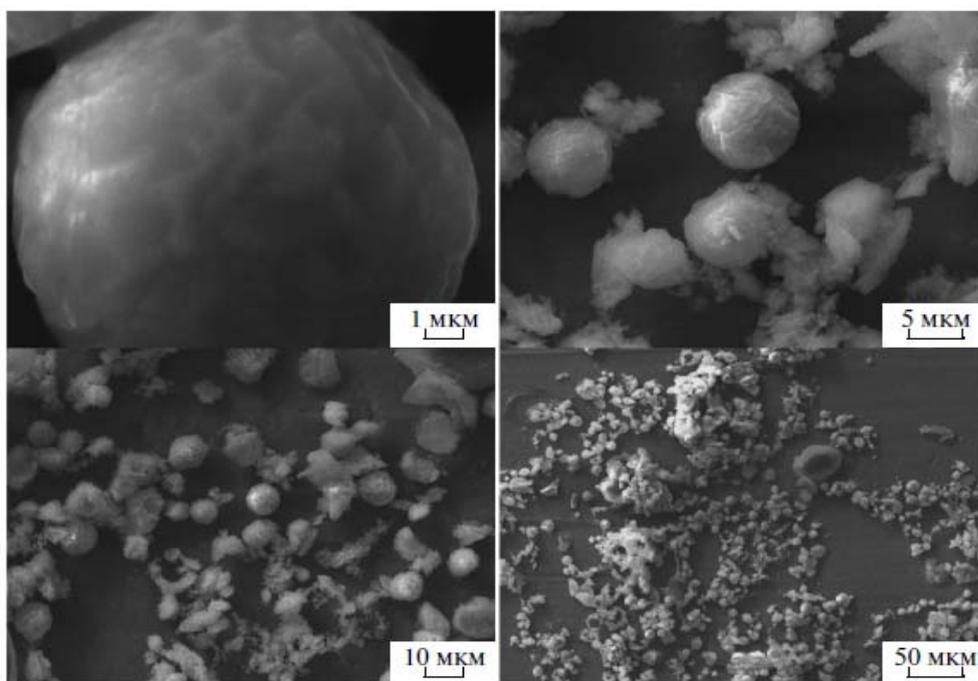


Рис. 1. Электронно-микроскопические снимки технической серы, полученные на растровом микроскопе [5]

Учитывая степень межкомпонентного взаимодействия и исследования в области механической активации [5], была разработана технология приготовления, включающая в себя определенный порядок загрузки компонентов и дальнейшее диспергирование на определенных частотах (ультразвуковое диспергирование) или оборотах в минуту (шнековая диспергация).

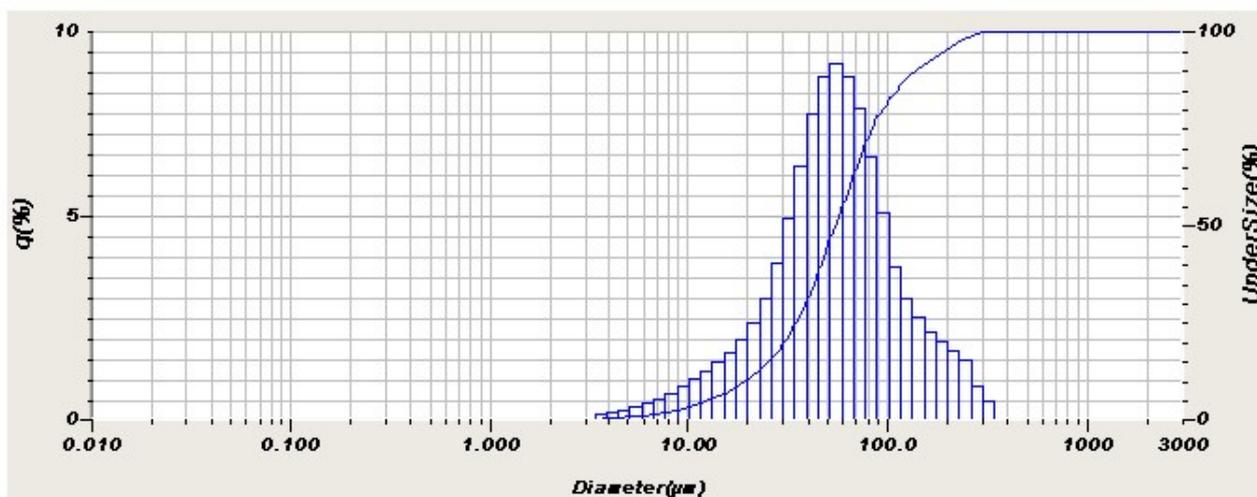


Рис. 2. Дисперсионный состав технической серы, средний диаметр активного компонента составляет – 60–70 мкм

Изготовление покрытия и пропитки на основе данной дисперсии заключается в дополнительной диспергации и, в случае с пропиткой, добавлении дистиллированной воды.

Многофункциональный модификатор представляет из себя универсальную высококонцентрированную суспензию на основе серы. Данная суспензия состоит из частичек пластинчатой формы с большим количеством диспергированной серы на поверхности. При незначительной модификации данной суспензии возможно получить защитное гидрофобизирующее покрытие по минеральным поверхностям.

Разработанный состав в качестве модифицирующей добавки может найти широкое применение в монолитном строительстве, на заводах железобетонных изделий, при реконструкции зданий и сооружений, а также при гидротехническом строительстве. Использование на основе полученного модификатора покрытий и пропиток по минеральному основанию возможно применять в конструкциях, используемых в агрессивных средах, а также при реконструкции зданий и сооружений.

Широкое внедрение данной разработки способствует улучшению экологической ситуации, позволит снизить площади отвалов, также приведет к сни-

жению финансовой нагрузки на НПЗ, что позволит получить дополнительную прибыль от продаж данного отхода.

Установлено, что оптимальное содержание модификатора в композиции составляет 3–8 %, при этом происходит увеличение прочности, водостойкости и щелочестойкости.

Производство всей линейки продукции на основе технической серы полностью адаптировано под промышленное производство. Для запуска данной продукции в производство не требуется значительной модернизации производства.

Список литературы

1. *Mohamed Sassi* Sulfur Recovery from Acid Gas Using the Claus Process and High Temperature Air Combustion Technology / Mohamed Sassi, Ashwani K. Gupta // *American Journal of Environmental Sciences* 4 (5), 2008. – P. 502–511.

2. *Książek, M.* The experimental research on special polymerized sulfur composite-impregnated concrete and cement mortar // *Journal of material sciences & engineering* – 2015. – № 4. – С. 1–8.

3. *Менковский, М. А.* Технология серы / М. А. Менковский, В. Т. Яворский. – М. : Химия, 1985. – 328 с.

4. Паспорт качества № 448Н от 18 февраля 2016 г. Сера техническая газовая гранулированная, сорт 9998.

5. Водные растворы серы, полученной при низкотемпературном каталитическом разложении сероводорода / А. Н. Старцев, О. В. Круглякова, Ю. А. Чесалов, А. Н. Серкова, Е. А. Супрун, А. Н. Саланов, В. И. Зайковский // *Журнал физической химии*. – 2015. – Т. 89. – № 1. – С. 1–5.

К. Л. Домнина, ст. преподаватель, e-mail: kseniya_domnina@bk.ru

В. Н. Репко, канд. техн. наук, проф.

ВФ ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»

И. А. Соломенников, специалист по маркетингу

ООО «Камабурмаш»

Многофакторный подход к решению задач определения оптимальных параметров пористых материалов

Постоянное совершенствование традиционных и внедрение новых технологий производства требует привлечения новых эффективных материалов, свойства которых в большинстве своем необходимо оптимизировать под каждую конкретную задачу. Но результаты экспериментов по оптимизации составов и технологии материалов известными методами требуют проверки и корректировки, что предполагает выполнение трудоемких исследований. В связи с этим актуальным является предварительное моделирование составов материалов и их свойств. В статье предлагается метод построения критерия прочности горизонтального слоя оболочек пористых материалов, несущих сжимающую нагрузку, сформулирована задача с поиском критериев оптимальности.

Ключевые слова: многофакторный подход, пора, оболочка, критерий оптимальности, математическая модель.

Постоянное совершенствование традиционных и внедрение новых технологий производства требует привлечения новых эффективных материалов, свойства которых в большинстве своем необходимо оптимизировать под каждую конкретную задачу. Современные методы оптимального проектирования композиционных систем основаны, как правило, на предположении, что оценка

качества готового изделия проводится по значению одного показателя (критерия) оптимальности Y – например, по максимальной прочности и износостойкости, минимальной теплопроводности, весу, стоимости и т. д. Такой подход к оценке эффективности и оптимизации решений принято называть скалярным или однокритериальным, а соответствующие ему задачи – задачами скалярной оптимизации [1]. Методы скалярной оптимизации, весьма эффективные при решении простых задач оптимального проектирования строительных конструкций, оказываются малоэффективными при решении сложных задач в условиях реального проектирования и многофакторности технологического процесса. При решении оптимизационных задач строительного материаловедения для качества материала невозможно найти скалярное представление, позволяющее в итоге перейти к задаче математического программирования [2].

Реальное проектирование строительных материалов с заданными свойствами связано с неопределенностями [3]. Это, во-первых, неопределенность в оценке эффективности решений. Во-вторых, неопределенность условий, в которых предстоит функционировать конструкциям в реальности. И в-третьих, неопределенность целей – их, как правило, несколько, т. к. на практике строительные материалы оцениваются множеством критериев качества – прочность (несущая способность), износостойкость, теплопроводность, стоимость, технологичность и т. д. Каждое из этих свойств может быть принято в качестве критерия оптимальности и должно быть одновременно учтено в комплексе. Сложная иерархическая структура и взаимосвязь критериев качества материала приводит к необходимости решения задачи многофакторной (многокритериальной) оптимизации для управления характеристиками материала как сложной системы [4]. Наша цель – построить математические модели этих зависимостей и на их базе формализовать задачу поиска оптимального решения для конкретных нагрузок.

В статье предлагается метод построения критерия прочности горизонтального слоя оболочек пор материала, несущих сжимающую нагрузку. Изначально предлагаемая расчетная схема упрощена, но точность ее повышается с уменьшением размеров пор и увеличением их количества. Как показывает

опыт, поря при затвердевании материала деформируется по направлению действия силы тяжести, и ее форму можно принять в виде сопряжения двух сферических оболочек одинакового радиуса (рис. 1).

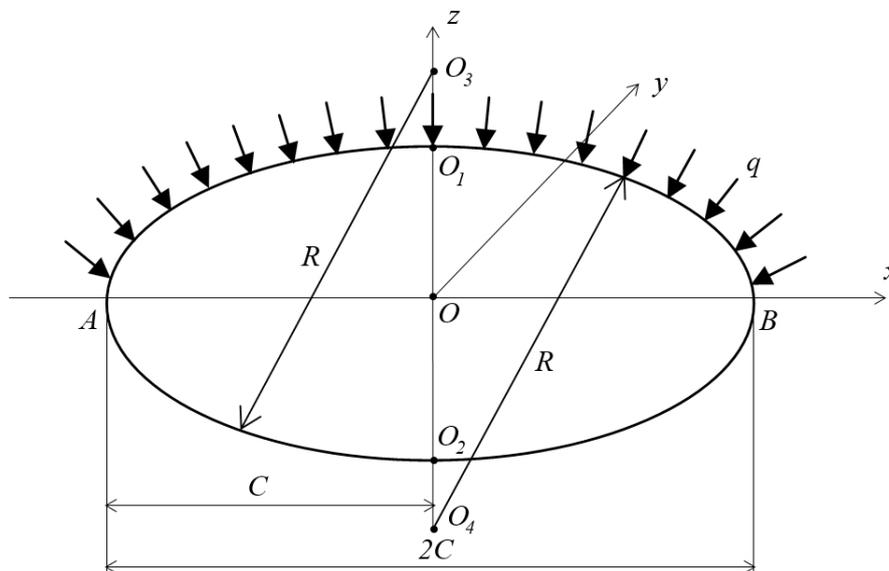


Рис. 1. Элемент оболочки поры: R – радиус срединной сферы оболочек AO_1B и AO_2B ; C – радиус их касания; q – сжимающая распределенная по оболочке нагрузка

Также необходимо формализовать и решать задачи оптимизации значений механических параметров всей композиции. А это возможно только на базе статистической обработки результатов экспериментов. В данном подходе мы считаем эти зависимости уже известными. Итак, система уравнений напряженного состояния оболочки имеет вид [5]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \nabla^4 W &= \frac{1}{R} \nabla^2 \varphi + q_z; \\ \frac{1}{Eh} \nabla^4 \varphi &= -\frac{1}{R} \nabla^2 W. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь E – модуль упругости первого рода (модуль Юнга); h – толщина оболочек; ν – коэффициент Пуассона; ∇^2 – оператор Лапласа; $\nabla^4 = \nabla^2 \nabla^2$ – двойной оператор Лапласа; W – прогиб к центру O_4 оболочки; R – радиус срединной сферы оболочек AO_1B и AO_2B ; φ – функция усилий в срединной поверхности оболочки; q_z – проекция распределенной нагрузки q на вертикаль. Модуль уп-

ругости, допускаемые напряжения на изгиб, растяжение, сжатие и пластичность (хрупкость) будут зависеть и от основного материала.

Исключая функцию φ , имеем:

$$\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \nabla^6 W + \frac{Eh}{R^2} \nabla^2 W = \nabla^2 q_z. \quad (2)$$

Здесь $\nabla^6 = \nabla^2 \nabla^2 \nabla^2$. Принимая во внимание, что сжимающая сила $N = \frac{qR}{2}$,

а напряжение $\sigma = \frac{qR}{2h}$, получим из (2) [5, 6]:

$$\varepsilon = \frac{\sigma(1-\nu)}{E} = \frac{qR(1-\nu)}{2Eh}; \quad (3)$$

$$\sigma_b = \frac{1}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} E \frac{h}{R}; \quad (4)$$

$$q_b = \frac{2}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} E \frac{h^2}{R^2}. \quad (5)$$

Здесь σ_b и q_b – предельные напряжения и нагрузки, превышение которых приводит к потере устойчивости оболочки поры, т. е. к разрушению всего слоя под нагрузкой. Безусловно, разрушение оболочки может произойти до потери устойчивости, если материал имеет допустимые напряжения на изгиб, растяжение или сжатие:

$$[\sigma] < \sigma_b; \quad (6)$$

$$[\tau] < \tau_b = \frac{E\varepsilon}{\pi R}, \quad (7)$$

где $[\sigma]$, $[\tau]$ – допускаемые изгибающие и сжимающие напряжения в сечениях оболочек по нормали к поверхности.

Из последних неравенств следует, что оптимальным случаем будет случай, когда:

$$\sigma_b = [\sigma]; \tau_b = [\tau]. \quad (8)$$

Условия (8) можно выполнить улучшением механических свойств материала оболочки или за счет выбора оптимальной величины параметров R и C

поры. Для первого варианта подходит процесс армирования основного материала жесткими или гибкими волокнами. Безусловно, и материал, и геометрические характеристики последних применяются при выполнении следующих требований: заданные механические свойства и ориентация по толщине оболочки поры. Лучшая ориентация – по линиям влияния при действии максимальных нагрузок. Второй вариант поддается аналитическому решению – это поиск экстремумов из зависимостей (3), (4) и (5). Таким образом, определение физических и геометрических характеристик любого пористого материала с требуемой прочностью и долговечностью сводится к решению задачи с многими критериями оптимальности. В нашем случае она имеет вид:

$$\begin{aligned}
 q &= h\sigma\nabla^2 W \rightarrow \max - \text{целевая функция} \\
 q &\leq q_B \\
 \sigma &\leq \sigma_B \\
 \sigma_B &\leq [\sigma] \\
 \tau &\leq \tau_B \\
 \tau_B &\leq [\tau] \\
 \varepsilon &\leq \varepsilon_B \\
 W &\leq W_B \\
 h &< h_0 \rightarrow 0
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Кроме критериев состояния из (9) переменными служат R , C , постоянные – E , ν , $[\sigma]$, $[\tau]$. Метод решения – лексикографическая многофакторная оптимизация, в нашем случае применительно к готовому изделию – поиск решения для закрепленного заказчиком самого важного критерия и последующая проверка остальных на приемлемость по ограничениям из (9). В случае нарушения значений каким-либо критерием по ограничениям между закрепленным первым критерием и «критерием-нарушителем» создается компромисс – уступка первого. Шаг уступки согласуется с заказчиком. При отказе единственный путь – создание материала с более высокими механическими свойствами. А это уже указанный выше первый вариант – эксперимент и поиск.

Список литературы

1. *Машунин, Ю. К.* Методы и модели векторной оптимизации. – М. : Наука, 1986. – 143 с.
2. *Иноземцев, А. С.* Многокритериальная оптимизация для оценки технико-экономической эффективности модифицирования высокопрочных легких бетонов на полых алюмосиликатных микросферах / А. С. Иноземцев, Е. В. Королев // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 11-4 (53). – С. 55–60.
3. Модели и методы векторной оптимизации / С. В. Емельянов, В. И. Борисов, А. А. Малевич, А. М. Черкашин. – Т. 5. – М. : ВНИТИ, 1973.
4. *Гарькина, И. А.* Системный анализ, теории идентификации и управления в строительном материаловедении / И. А. Гарькина, А. М. Данилов, Ю. А. Соколова. – М. : Палеотип, 2008. – 240 с.
5. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах. – Т. 1 / под ред. И. А. Биргера и Я. Г. Пановко. – М. : Машиностроение, 1968. – 821 с.
6. *Филиппов, А. Ф.* Введение в теорию дифференциальных уравнений : учебник. – Изд. 2-е, испр. – М. : КомКнига, 2007. – 240 с.

Д. В. Загуменнов, студент, e-mail: dima.zagu2010@yandex.ru

А. А. Иванов, студент, e-mail: ivanovand.ivanov2016@yandex.ru

А. Ф. Гордина, канд. техн. наук, доц., e-mail: gism56@mail.ru

Г. Н. Первушин, д-р техн. наук, проф., e-mail: isfzfo@istu.ru

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Композиционный материал на основе фторангидрита с техногенным модификатором

В работе представлен разработанный состав композиционного материала на основе фторангидритового вяжущего с добавлением доменного шлака, отличающегося улучшенными физико-механическими характеристиками. Предварительная оптимизация состава фторангидритового вяжущего с техногенным модификатором производилась по технологическим параметрам, включая сроки схватывания и нормальную плотность теста. Было установлено влияние техногенной минеральной добавки – доменного шлака – на механические свойства композита. Разработанный композиционный материал может найти применение в производстве стеновых блоков для малоэтажного строительства, поскольку компоненты смеси – это недорогие техногенные продукты, применение которых обеспечит снижение себестоимости изделий на их основе, в то же время позволит способствовать решению проблем энерго- и ресурсосбережения, снижению уровня негативного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: фторангидритовое вяжущее, доменный шлак, экологичность, техногенные материалы, оксиды кальция.

В настоящее время в строительной промышленности большое внимание уделяется использованию отходов производства других отраслей народного хозяйства. Широкое применение вторичного сырья способствует значительному

повышению технико-экономической эффективности предприятий, снижению затрат на добычу сырья и производство строительных материалов и сухих смесей. За счет организации практически безотходного производства возможно улучшить состояние окружающей среды. Одним из таких техногенных материалов является фторангидрит.

В атомной и алюминиевой промышленности образуется большое количество твердого сульфаткальциевого отхода – фторангидрита, который проходит процесс нейтрализации кислого фторангидрита щелочами и впоследствии складывается в открытых отвалах, загрязняя почвы и подземные воды [1]. Обезвреженный по сухому способу фторангидрит, а также техногенный ангидрит, модифицированный солями одновалентных металлов, могут быть использованы в качестве пластификатора, минерального вяжущего, пигмента или наполнителя [2]. Применение сульфатсодержащих продуктов позволит способствовать решению проблем энерго- и ресурсосбережения.

Техногенный фтороводород получают путем взаимодействия обогащенного по флюориту плавикового шпата и концентрированной серной кислоты, которую берут с избытком, при температурах выше 180 °С [3]. Химический состав получаемого твердого отхода – фторангидрит – включает следующие компоненты: CaSO_4 , H_2SO_4 , CaF_2 , $\text{Ca}(\text{SO}_3\text{F})_2$ и частично примеси, сопровождающие плавиковый шпат. Наличие серной кислоты и фторсульфоната кальция, который при контакте с влагой воздуха гидролизуеться и выделяет в атмосферу фтороводород и дополнительное количество серной кислоты, приводит к тому, что фторангидрит относят к материалам первого класса опасности. Поэтому для его обезвреживания и перевода в безопасное состояние фторангидрит нейтрализуют щелочными реагентами.

Техногенный ангидрит можно использовать как в тонкодисперсных строительных композитах [4] – штукатурках, лакокрасочных материалах, шпаклевочных составах, так и грубодисперсных – кладочный раствор, половые стяжки, монтажный, стеновой композит. Однако разработанные составы строительных смесей отличаются сложностью технологической линии и рецептурно-

го состава, требуют тщательного подбора компонентов. Поэтому на основе анализа современных исследований в области применения композиционных материалов на основе техногенного ангидрита было принято решение о проведении исследований влияния техногенных добавок – доменного гранулированного шлака на свойства и структуру фторангидритового вяжущего.

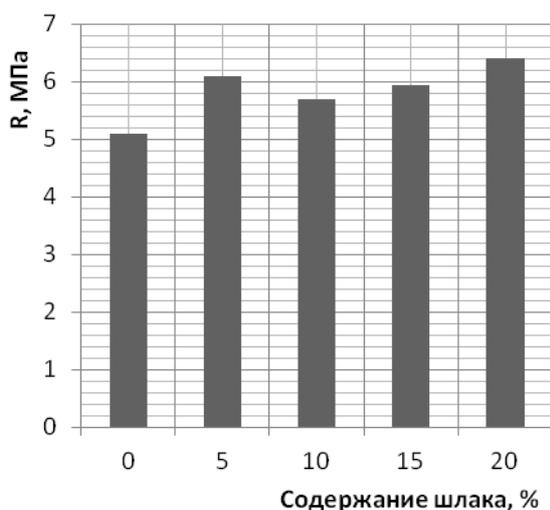
Производство стеновых блоков для малоэтажного строительства на основе фторангидритового вяжущего без активатора, в качестве которого выступает доменный шлак, не целесообразно [5], поскольку фторангидрит не обладает достаточными механическими характеристиками. С целью повышения прочностных свойств композиций на основе техногенного ангидрита, было принято решение ввести в состав разрабатываемого материала дисперсный техногенный продукт – доменный шлак. Введение минерального модификатора [6], содержащего активные оксиды кальция и кремния, способствуют формированию в структуре гипсового камня новообразований на основе гидросиликатов кальция. Гидросиликаты кальция образуются в виде тонких волокнистых кристаллов, малорастворимых в воде, заполняющих поровое пространство гипсовой матрицы и способствующих росту прочности.

Для проведения лабораторных исследований был взят фторангидрит с Пермского завода «ГалоПолимер». В состав данного отхода производства входит оксид кальция в размере 6,3 % и серный ангидрит, массовая доля которого равна 52,4 %. Также использовался доменный шлак, производимый на Магнитогорском заводе «Урал-Ресурс», соответствующий требованиям ГОСТ 3476 «Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цементов». В состав доменного шлака входят следующие химические элементы: S, K, SiO₂, CaO, MnO, Al₂O₃, MgO, TiO₂, FeO. Фторангидрит и доменный шлак были подвержены предварительному измельчению посредством дробления и истирания исходных компонентов. В испытаниях использовалась фракция вяжущего, просеянного через сито № 0,315 мм, и доменного шлака менее 0,14 мм.

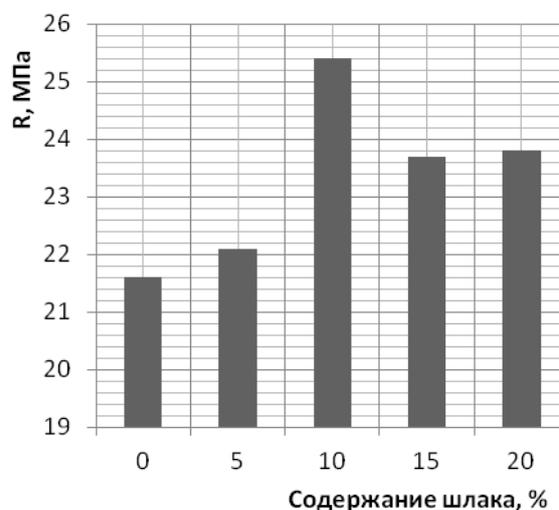
Была произведена предварительная оптимизация состава композиционного материала на основе фторангидрита по технологическим параметрам, вклю-

чая сроки схватывания и нормальную консистенцию смеси. Испытания были проведены в соответствии с ГОСТ 23789–79. Было установлено, что при введении доменного шлака происходит увеличение сроков схватывания от 47 минут до 95 минут, а оптимальное количество воды затворения – 20 %.

Механические свойства фторангидритового композита были определены на образцах-балочках 40×40×160 мм, которые выдерживались 14 дней в воздушно-сухих условиях (рисунок).



a



б

Механические характеристики фторангидритовой композиции при введении доменного шлака через 14 суток твердения

На основе анализов приведенных зависимостей можно сделать вывод, что введение доменного шлака в состав фторангидритового вяжущего приводит к росту прочностных показателей матрицы. Установлен оптимальный процент содержания модификатора, равный 10 %, при котором достигается рост предела прочности в возрасте 14 суток на изгиб до 5,7 МПа и увеличение предела прочности на сжатие до 25,4 МПа, что превышает значение контрольного состава на 12 и 18 % соответственно (таблица).

Сравнительная характеристика контрольного образца и образца с добавлением оптимального процента шлака

№ образца	Содержание в образце шлака, %	Водовяжущее отношение, %	Сроки схватывания, мин	ρ , г/см ³	$R_{изг}$, МПа	$R_{сж}$, МПа
1	0	20,4	47	1,87	5,1	21,6
2	10	20,2	95	1,99	5,7	25,4

Сравнительный анализ физико-технических параметров составов контрольного и модифицированного материала, что достигается увеличением прочностных характеристик и средней плотности, свидетельствует об уплотнении структуры и уменьшении количества открытых пор в композите. В то же время можно отметить, что доменный шлак является хорошим замедлителем сроков схватывания сульфатсодержащего композиционного материала.

В ходе исследований был предложен состав композиционного материала на основе техногенного ангидрита с минеральным дисперсным модификатором, отличающийся улучшенными физико-механическими свойствами. Было установлено, что при введении в состав фторангидрита 15 % доменного шлака достигается рост прочности на изгиб и сжатие образцов в возрасте 14 дней до 5,7 и 25,4 МПа соответственно. Также отмечается удлинение сроков схватывания и увеличение средней плотности композита, что свидетельствует об уплотнении структуры, уменьшении пористости. Таким образом, разработанный состав фторангидритовой композиции отличается простотой (двухкомпонентный), технологичностью производства (фторангидрит требует только домолла), при этом характеризуется физико-механическими свойствами, достаточными для производства стеновых блоков для малоэтажного строительства.

Список литературы

1. *Артамонов, В. А.* Технические и коммунальные отходы и окружающая среда // Гражданская защита. – 2007. – № 2. – С. 30–31.

2. Федорчук, Ю. М. Разработка способов вовлечения сульфаткальциевых отходов фтороводородных производств в круговорот промышленного использования // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 11-2. – С. 151–155.
3. Рысс, И. Г. Химия фтора и его неорганических соединений. – М., 1956. – С. 49–110.
4. Фишер, Х. Б. Ангидритовые вяжущие в строительстве / Х.-Б. Фишер, Б. Б. Второв // Актуальные проблемы современного строительства : материалы Всероссийской XXXI научно-технической конференции. Ч. 1. – Пенза, 2001. – С. 83–84.
5. Авакумов, Е. Г. Механические методы активации химических процессов. – Новосибирск : Наука, 1986. – 304 с.
6. Второв, Б. Б. Оптимизация состава ангидритового вяжущего / Б. Б. Второв, Х.-Б. Фишер // Композиционные строительные материалы. Теория и практика : материалы Всероссийской XXXI научно-технической конференции. Ч. 1. – Пенза : ПГСА, 2000. – С. 55–57.

И. С. Звонарев, магистрант, e-mail: atmoscrystalline@gmail.com

Ю. Л. Караваев, канд. физ.-мат. наук, доц.

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Управление многозвенным колесным мобильным роботом с применением искусственных нейронных сетей

Статья посвящена разработке системы управления для модели колесного мобильного робота, состоящего из сочлененных колесных платформ. По результатам анализа работ, посвященных исследованиям многозвенных колесных роботов, разработана структурная схема интеллектуальной системы управления роботом, предложен алгоритм управления мобильным роботом с помощью искусственной нейронной сети, обучение которой проводится по наборам выборок, полученных в результате моделирования. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00454.

Ключевые слова: многозвенный колесный мобильный робот, искусственная нейронная сеть.

В данной работе рассматривается задача управления двухзвенным мобильным роботом с помощью искусственной нейронной сети (ИНС). В настоящее время искусственные нейронные сети (ИНС) широко применяются на практике для задач распознавания образов, прогнозирования, классификации, а также управления.

Объектом управления является колесный мобильный робот (КМР), состоящий из двух звеньев: 3D-модель и схема рассматриваемого мобильного робота (рис. 1). В качестве приводных двигателей используются двигатели постоянного тока, которые реализуют задний привод ведущей тележки, для осуществ-

вления поворота платформы используется шаговый двигатель, который обеспечивает поворот передней оси на угол до 30 градусов.

Информационно-измерительная система КМР обеспечивает получение данных о текущем положении, ориентации, взаимном положении всех звеньев. Для этого используется однолучевой лидар и датчики угла поворота.

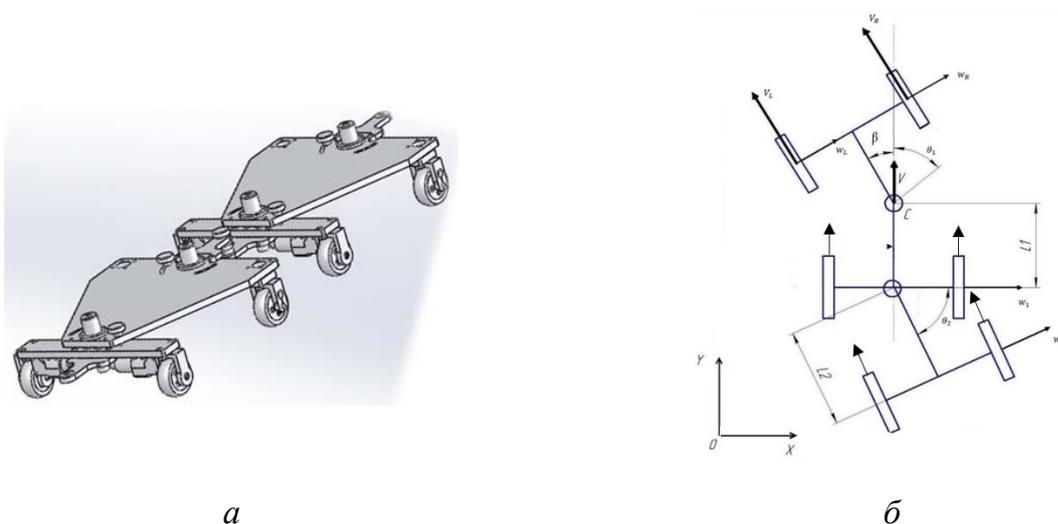


Рис. 1: а – 3D-модель прототипа; б – кинематическая схема двухзвенного КМР

На рис. 1, б обозначены следующие параметры конструкции: β – угол поворота рулевого привода; θ_1 – угол, задающий ориентацию КМР относительно оси Ox первого звена; θ_2 – угол, задающий ориентацию КМР относительно оси Ox второго звена; L_1 – расстояние от свободной оси вращения до центра масс; L_2 – расстояние от свободной оси вращения до сцепки звеньев масс; C – центр масс обозначен точкой; V – скорость робота в точке центра масс; w_L – угловая скорость левого колеса, w_R – угловая скорость правого колеса; V_L – скорость, соответствующая левому ведущему колесу; V_R – скорость, соответствующая правому ведущему колесу.

Положение рассматриваемой системы, задается координатами центра масс первого и второго звеньев робота (x_2, y_2, x_1, y_1) и ориентацией МР, которая определяется углами θ_1 и θ_2 относительно оси x . Тогда кинематика движения может быть описана следующими уравнениями:

$$x'_1 = V \cos \beta \cos \theta_1, y'_1 = V \cos \beta \sin \theta_1, \theta'_1 = \frac{V}{L_1} \sin \beta,$$

$$x'_2 = x_1 - L_2 \cos \theta_2, y'_2 = y_1 - L_2 \sin \theta_2, \theta'_2 = \frac{V}{L_2} \cos \beta \sin(\theta_1 - \theta_2), \quad (1)$$

$$|\beta| \leq \beta_{\max}, V = f(w_L, w_R), w_L = \frac{(\rho - L)V}{R\rho}, w_R = \frac{(\rho + L)V}{R\rho},$$

где ρ – кривизна траектории; R – радиус колеса.

Решение системы уравнений (1) позволяет связать заданную траекторию движения в виде $x(t), y(t)$ с управляющими воздействиями $w_L(t), w_R(t), \beta(t)$.

Причем следует различать две стратегии управления в зависимости от начальных и конечных условий.

Первая, когда траектории движения КМР задаются в виде функций $x(t), y(t)$. Вторая, когда заданы только начальное положение $x_1(0), y_1(0), \theta_1(0), \theta_2(0)$ и конечное положение $x_1(k), y_1(k), \theta_1(k), \theta_2(k)$, иногда начальные условия могут быть дополнены параметрами скорости для начального и конечного положения. Для реализации данной стратегии предстоит решать сложную задачу планирования траектории и выбора оптимального маршрута движения. Существуют методы аналитического, геометрического, численного анализа по построению оптимальных траекторий движения [1, 2]. Однако данные методы обладают высокой вычислительной сложностью даже для простых систем и не универсальны.

Для решения задачи формирования управляющих воздействий для заданных начальных и конечных условиях планируется использовать ИНС. Известны примеры управления манипуляционными роботами с использованием ИНС [3].

При этом для сокращения итераций обучения на практике планируется тренировать ИНС, предобученную на выборках, соответствующим оптимальным, полученным в результате моделирования уравнением (1). В качестве критериев оптимальности используется минимальная длина пути, максимальное быстродействие, сохранение ориентации звеньев и др.

На рис. 2 приведена структурная схема ИНС для управления КМР. Выбор сети производился на основе анализа наиболее ярких работ, посвященных данной проблеме [4–5]. По данным с автоматизированно-измерительной системы ИНС будет определять положение и ориентацию КМР, состояние окружающей среды и нормировать (или корректировать) управляющие воздействия для реализации заданного движения.

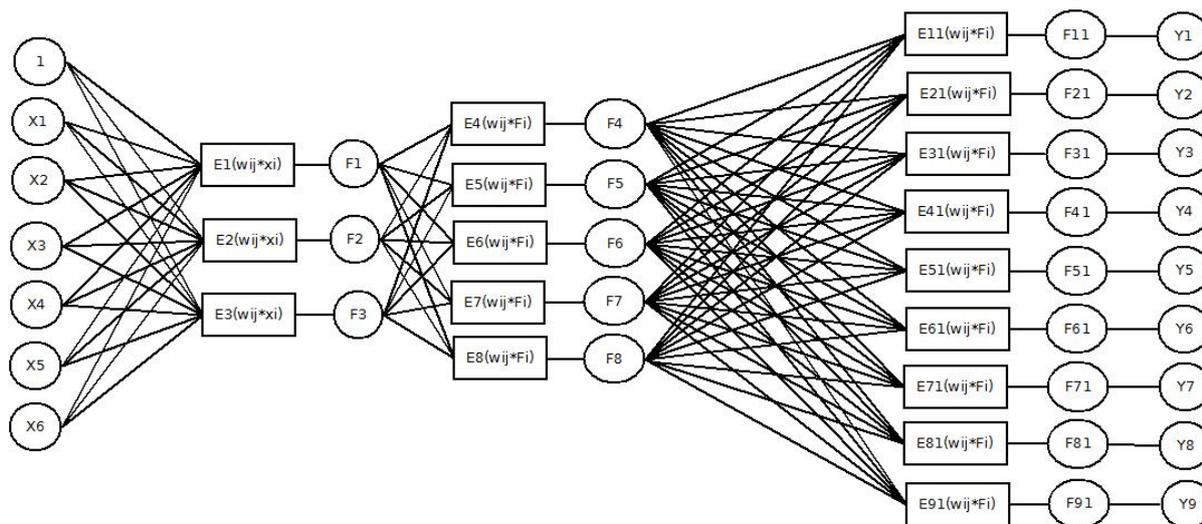


Рис. 2. Экспериментальная модель нейронной сети

На вход искусственной нейронной сети, изображенной на рис. 2, подаются данные о расстоянии до объектов ($X1$), угол, определяющий взаимное положение звеньев ($X2$), текущая скорость робота ($X3$), координаты робота ($X4$ – $X5$) и целевые координаты ($X6$), а на выходе получаем рулевое управление ($Y1$ – $Y8$) и изменение скорости ($Y9$). Рулевое управление кодируется бинарными значениями. Группа значений $Y1$ – $Y4$ отвечает за кодировку угла поворота в левую сторону, а $Y5$ – $Y8$ – в правую.

Нейронная сеть, представленная на рис. 2, синтезирована на основе рекуррентного многослойного персептрона и сетей с самоорганизацией. Архитектура сети имеет комбинированную структуру и состоит из трех слоев.

Список литературы

1. *Васильев, В. И.* Интеллектуальные системы управления. Теория и практика : учеб. пособие / В. И. Васильев, Б. Г. Ильясов. – М. : Радиотехника, 2009. – 392 с.
2. *Борисов, А. В.* О проблеме Адамара – Гамеля о динамике колесных экипажей / А. В. Борисов, А. А. Килин, И. С. Мамаев // *Нелинейная динамика*. – 2016. – Т. 12, № 1. – С. 145–163.
3. Learning Hand-Eye Coordination for Robotic Grasping with Deep Learning and Large-Scale Data Collection // Sergey Levine, Peter Pastor, Alex Krizhevsky, Deirdre Quillen // Cornell university library- Computer Science -2016.
4. Модели реализации навигации внутри помещения при помощи анализа беспроводных источников данных / А. А. Овсянников, П. А. Новиков // *Компьютерные инструменты в образовании*. – 2015. – № 4. – С. 37–51.
5. Разработка алгоритма обхода препятствия для мобильного управляемого робота / Д. Ю. Бровкина, Т. А. Приходько // *Сборник Донецкого национального технического университета* – 2013. Секция 7. Технологии и системы искусственного интеллекта. – С. 415–421.

Е. В. Зиновьева, студентка, e-mail: zinoveva_katia@mail.ru

О. М. Санду, канд. техн. наук, доц.

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Сувенир как средство продвижения бренда вуза на примере ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

В статье рассматриваются сувениры как средство продвижения бренда вуза «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова». Для успешной разработки сувениров необходимо правильно подобрать образы, ассоциирующие с университетом. Вследствие этого был проведен опрос студентов и преподавателей ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. В результате опроса был отобран образный ряд. На основе образов были разработаны сувениры.

Ключевые слова: ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, фирменный стиль, дизайн сувениров.

ИжГТУ имени М. Т. Калашникова – это один из востребованных университетов Удмуртской Республики, который выпускает квалифицированных специалистов. Но среди высших учебных заведений существует высокий уровень конкуренции. Следовательно, университет должен быть узнаваемым и иметь свой отличительный образ.

Фирменный стиль – это средство формирования имиджа учебного заведения, предприятия и т. п. В широком смысле под фирменным стилем предполагается «набор графических, цветовых, словесных элементов, которые обеспечивают визуальное и смысловое единство товаров или услуг». К фирменному стилю также относят разработку сувениров. Сувениры – это изделия, предметы, которые предназначены для развития бренда компании [1].

В связи с совершенствованием статуса Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова создание фирменной сувенирной продукции представляется особенно актуальным, так как разработка сувениров способствует формированию благоприятного имиджа университета, усиливает эффективность рекламных контактов с потребителями, способствовать росту репутации и известности вуза на рынке образовательных услуг.

При разработке дизайн-объектов необходимо выполнить ряд этапов: выбор художественного образа, разработка эскиза и объемной модели; выбор технологий и материалов для изготовления объектов; расчет стоимости [2]. Кроме того, необходимо учесть практическую ориентированность и востребованность проектируемого объекта [3].

Для того чтобы правильно подобрать символы для сувениров, был проведен опрос студентов и преподавателей университета. Опрашивались люди методом интервью. Большинство отвечающих были студенты возрастом от семнадцати до двадцати шести. Одним из популярных ответов на вопрос, кто (что), на ваш взгляд, является символом ИжГТУ, стали ответы: М. Т. Калашников (33 %) и памятник «Вечный студент» (32 %). Кроме того, были ответы: механизм (робот) (7 %), оружие (5 %), студент (5 %), пушки (3 %). Среди большинства студентов для УК-факультета символом ИжГТУ стал М. Т. Калашников. Для РИД-факультета – «Вечный студент», ИС-факультета – пушки, СМАИМ – механизм, ПИГН-факультета – оружие, П-факультета – студент. Символ М. Т. Калашникова выбирали в основном мужчины. Среди женского пола наиболее популярный символ – памятник «Вечный студент».

Проанализировав и изучив фирменный стиль ИжГТУ, был разработан образный ряд сувениров: М. Т. Калашников, памятник «Вечный студент», оружие, механизм (робот). Эти образы идеально описывают ИжГТУ имени М. Т. Калашникова.

По функциональности выделяют сувениры: промо-сувениры, бизнес-сувениры, бытовые, тематические, игровые. Для продвижения бренда «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова» актуальнее промо-сувениры. Главное отличие про-

мо-сувениров от других в том, что они сделаны в соответствии с корпоративным стилем. Промо-сувениры можно поделить на две группы. К первой группе относятся сувениры, которыми пользуются ежедневно. Их можно раздавать в огромных количествах при проведении различных мероприятий. Ко второй группе относятся наградные промо-сувениры, их особенность в том, что ими награждают победителей в различных конкурсах.

В связи с этим были разработаны промо-сувениры первой группы: блокнот с символикой ИжГТУ (рисунок, *а*), брелок, стикеры, магнитик. Ко второй группе наградных сувениров относится медаль (рисунок, *б*) и наградная статуэтка.



а

б

Сувениры ИжГТУ имени М. Т. Калашникова: *а* – блокнот; *б* – медаль

Современные технологии изготовления сувениров отличаются многофункциональностью. Различают следующие технологии изготовления сувенирной продукции: тиснение, гравировка, шелкография, вышивка, деколь, наклейки, 3D-печать и т. д. Наиболее перспективной является 3D-печать.

С помощью 3D-печати были разработаны: медаль, наградная статуэтка, магнит, брелок. Печать осуществлялась на 3D-принтере модели «M Bot Crid II». Принтер позволяет изготавливать объекты из пластика. В данном случае используется пластик PLA. PLA-материалы являются гораздо более экологически чистыми, чем другие пластмассы. С помощью 3D-принтера была изготовлена 3D-модель медали. Таким образом, разработанная сувенирная продукция способствует продвижению ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, так как взаимодействует с обществом.

Список литературы

1. Сувенир. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Сувенир> (дата обращения: 18.02.18).
2. *Санду, О. М.* Проектирование в дизайне среды: учеб. пособие для студентов вузов. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2017. – 110 с.
3. *Санду, О. М.* Опыт реализации проектной деятельности и принципов дизайн-мышления в образовательной программе по направлению «Дизайн» в ИжГТУ имени М. Т. Калашникова // Инновации в образовании : сборник материалов научно-методической конференции преподавателей и сотрудников ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2017. – С. 111–114.

Н. А. Золотарев, студент, e-mail: Zolotarev.9@mail.ru

Э. В. Алиев, доцент

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Модель оценки и выбора альтернативных вариантов технологической реализации машиностроительного производства

Целью данного проекта является обеспечить лицо, принимающее решение, информационной системой поддержки на основе объективной информации для выбора предпочтительного варианта. Исходя из цели оценки альтернативы можно выделить задачи: составить схему производственного процесса; рассчитать стоимость ресурсов, таких как оборудование, оснастка, персонал, здание, материал. Модель выбора будет осуществляться принятием решения из нескольких альтернатив технологической реализации машиностроительного производства. Данная модель оценки и выбора поможет принять решение из нескольких вариантов реализации, которое будет устраивать с точки зрения надежности, себестоимости, ремонтно-пригодности.

Ключевые слова: технологическая реализация, производство, альтернативные варианты, модель оценки, модель выбора.

В управлении реальным объектом обычно присутствует множественность альтернативных вариантов управленческих решений [3]. Поэтому перед лицом, принимающим решение, стоит проблема в достаточной обоснованности выбранного варианта. Поэтому нам представляется актуальным создание модели производственного процесса, позволяющей выбрать предпочтительные варианты реализации производства.

Целью работы является создание модели оценки и выбора альтернатив.

Исходя из цели можно выделить задачи:

- составить схему производственного процесса;
- рассчитать стоимость ресурсов.

Объектом исследований выбрано производство кронштейна удержания теплотехнических устройств производства ИЗТТ (рис. 1). Далее представлен укрупненный технологический процесс производства этого изделия (рис. 2).

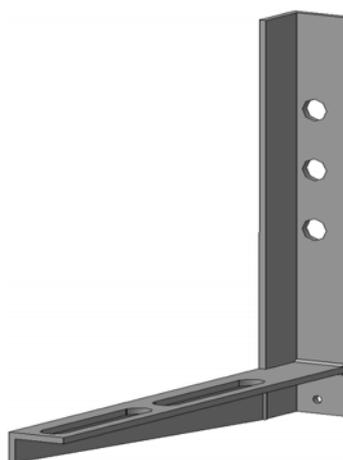


Рис. 1. Кронштейн

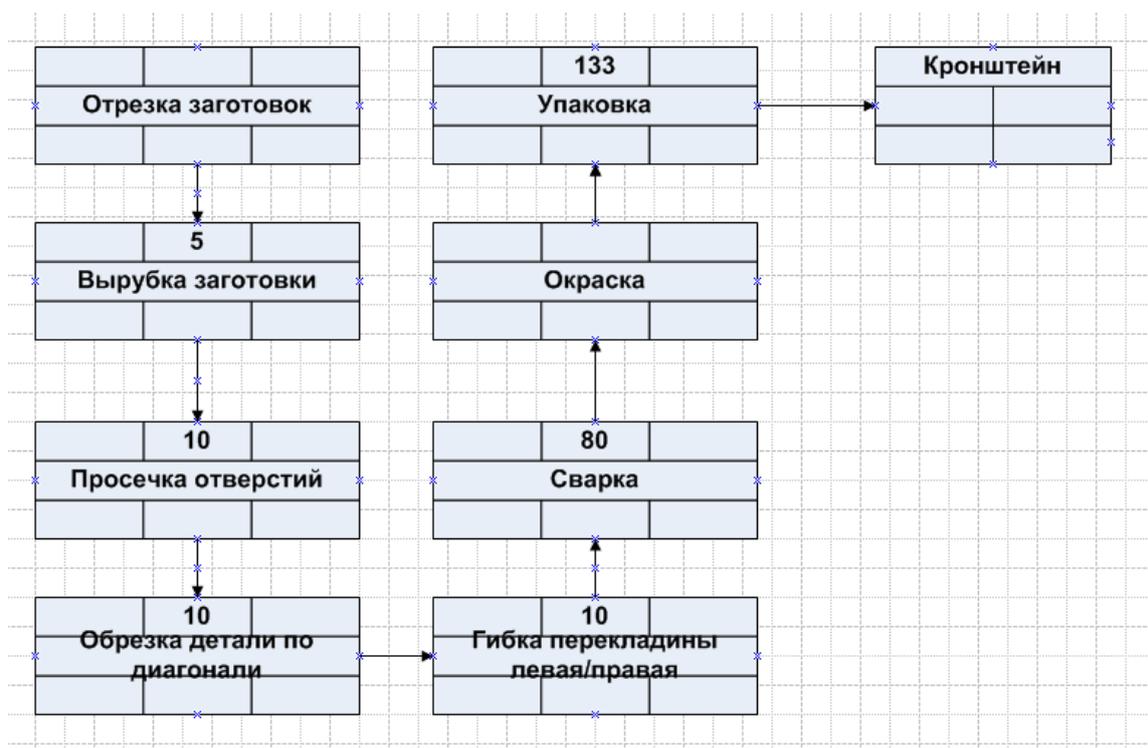


Рис. 2. Укрупненный технологический процесс производства кронштейнов

Технология калькуляции отнесения затрат ресурсов на единицу продукции методом хронометража представляет собой сумму произведений норм расходов на цены соответствующих ресурсов [1].

Выбор оптимального варианта будет происходить по критерию себестоимости (рис. 3).

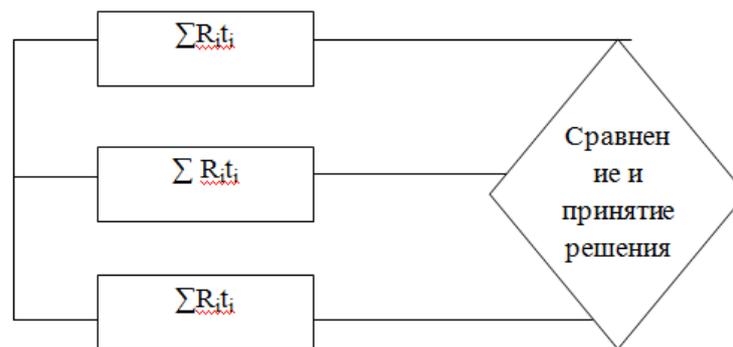


Рис. 3. Модель оценки и выбора альтернативных вариантов технологической реализации машиностроительного производства

Помимо существующего разрабатываются следующие альтернативные варианты конструкции кронштейнов:

- 1) Модель вообще без использования сварки (рис. 4).

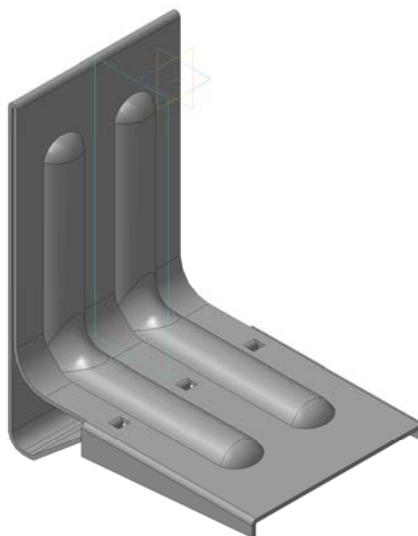


Рис. 4. Кронштейн листовой штамповки

Эта конструкция более дорогая по причине малоизвестной технологии производства, требующего специального оборудования для производства этой конструкции [4]. В перспективе возможно, что эта конструкция будет полезна и применима для производства.

2) Конструкция с использованием стандартных равнополочных уголков (рис. 5) с применением для их соединения контактной точечной сварки.

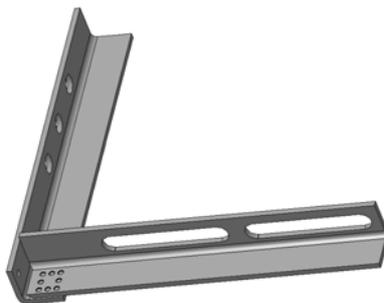


Рис. 5. Кронштейн с контактной точечной сваркой

Преимущество его в том, что не требуется гнуть уголки, кроме того, возможно применение сварщика более низкой квалификации, поскольку контактная сварка более технологична [2].

Предварительный анализ согласно нашей модели указывает на предпочтительность последнего описанного варианта.

Надеемся, что предлагаемая модель сравнения будет полезна для производства.

Список литературы

1. *Гандина, Н. М.* Экономика и нормирование труда : учеб. пособие. – Ижевск : Изд-во ИГЭА, 2004. – 236 с.
2. Статья о принципах действия точечной сварки. – URL: <http://zavarimne.ru/oborudovanie/znakomstvo-s-principami-tochechnoj-svarki> (дата обращения: 16.04.2018).
3. Теория систем и системный анализ : учеб. пособие / В. Н. Чернышов, А. В. Чернышов. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2008. – 96 с.
4. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / Л. И. Рудман. – М. : Машиностроение, 1988. – 496 с.

А. А. Иванов, студент, e-mail: ivanovand.ivanov2016@yandex.ru

Д. В. Загуменнов, студент, e-mail: dima.zagu2010@yandex.ru

Е. М. Тютинина, студент, e-mail: ekaterina.tyutina96@yandex.ru

А. Ф. Гордина, канд. техн. наук, доцент, e-mail: gism56@mail.ru

И. С. Полянских, канд. техн. наук, доц., e-mail: irina_maeva@mail.ru

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Разработка состава фторангидритового вяжущего для устройства самонивелирующихся полов

В мире ежегодно образуется значительное количество отходов промышленности на основе сульфата кальция, которое может быть использовано в качестве минеральных вяжущих, заменяя традиционные строительные материалы. В данной статье предложен состав на основе техногенного ангидрита с добавлением пластифицирующей добавки, который может быть использован при изготовлении самонивелирующихся наливных полов.

Ключевые слова: фторангидрит, гиперпластификатор, поликарбоксилат, самонивелирующиеся полы, наливные полы.

В настоящее время актуальной проблемой является разработка новых материалов на основе техногенных отходов производства. Современное строительство не представляется возможным без нововведений в области применения новейших конструкционных, отделочных материалов и изделий. Одно из направлений разработок в области строительного материаловедения направлено на изучение и совершенствование сухих смесей на основе техногенного сульфата кальция. Использование гипсосодержащих отходов производства (фо-софогипс, фторангидрит, борогипс и др.), полученных по безобжиговым техно-

логиям, позволяют изготавливать изделия, характеристики которых не уступают, а иногда даже превосходят показатели аналогичных продуктов на природном вяжущем сырье.

Перспективным направлением развития промышленности вяжущих веществ является разработка эффективных сухих строительных смесей, применение которых возможно для выполнения отделочных работ, включая устройство наливных полов. Наливные (самонивелирующиеся) смеси позволяют создавать ровные быстротвердеющие поверхности, практически не дающие усадки. Согласно исследованиям Ферронской [1], выравнивающие сухие гипсовые смеси для устройства пола представляют собой растворные смеси из неводостойких гипсовых вяжущих α -модификации, ангидрита, эстрих-гипса или водостойких гипсовых вяжущих (гипсоцементно-пуццолановые или композиционные гипсовые вяжущие) и специального набора химических добавок для увеличения пластичности раствора при одновременном снижении содержания воды. Отходы промышленности, обладающие химическим сродством с гипсом, также могут служить основным сырьем для производства данного строительного материала.

Одним из видов твердого сульфатно-кальциевого отхода является фторангидрит, побочный продукт производства фторводорода из плавикового шпата (флюорита), осуществляемого в химической, атомной промышленности, а также при производстве цветных металлов. Данный отход либо хранится в отвалах (г. Пермь, Ачинск и др.), либо сбрасывается в водоем в виде нейтрализованной пульпы (г. Северск) [2]. Создание отвальных полей создает необходимость отчуждения участков земли, что требует определенных капиталовложений, кроме того, оказывается негативное влияние на экологическую обстановку. Годовой объем его производства в мире составляет 225 миллионов тонн, между тем как его использование не превышает 5 % [3].

Фторангидрит представляет собой кристаллы безводного сульфата кальция и фторида кальция. Данный отход фтороводородного производства обладает вяжущими свойствами, которые определяются содержанием водорастворимого CaSO_4 . Наряду с основными исходными реагентами и продуктами реак-

ции – фторид кальция, серная кислота, сульфат кальция – присутствуют также в различных количествах продукты взаимодействия материала оборудования и плавикового шпата с серной кислотой (сульфат железа) и фтороводородом (фторид и кремнефторид натрия, если нейтрализацию кислой составляющей отвала проводят с помощью натриевой щелочи) [4]. Основная проблема, возникающая при использовании фторангидрита, заключается в адсорбированной на его зернах остаточной серной кислоты, нейтрализовать которую необходимо до стадии технологического процесса [5]. Наличие примесей затрудняет использование отхода без предварительной нейтрализации, которую проводят путем совместного помола фторангидрита с известьсодержащим реагентом.

Качество, долговечность и эстетичность напольного финишного покрытия зависит от свойств основания. Основным направлением в области использования фторангидрита на сегодняшний день, является разработка сухих строительных смесей [6]. Самонивелирующиеся стяжки под полы на основе ангидридовых вяжущих применяют в жилых и общественных зданиях с нормальным режимом эксплуатации, т. е. влажностью воздуха до 60 % [7].

Для устройства самовыравнивающихся оснований пола применяют специальные нерасплаиваемые растворные смеси с высокой подвижностью толщиной от 30 до 100 мм и более, оптимальная величина составляет 40–60 мм, что позволяет сделать скрытыми межкомнатные трубопроводы и электросети. Самовыравнивающийся слой из строительного раствора должен обладать прочностью при сжатии не менее 15 МПа. Если прочность стяжки или самовыравнивающиеся основания пола составляют не менее 20 МПа, то они могут применяться для любых видов покрытий, включая и наливные полимерные [8].

Исследования фторангидрита показали, что самостоятельно он практически не твердеет, т. е. вмешательство в технологический процесс основного производства практически невозможен, а в связи с низкой прочностью и медленным твердением вяжущие на его основе являются нетехнологичными, т. к. не могут обеспечить высокую прочность изделиям, поэтому с целью получения материалов необходимо разрабатывать способы модифицирования его для ини-

цирования вяжущих свойств. Способы модифицирования зависят от химического состава и однородности фторангидрита, различаются в зависимости от технологии предприятия производителя [5].

Анализ работ по повышению характеристик самонивелирующихся смесей выявил тенденцию к изысканиям, направленным на повышение прочности за счет уменьшения водогипсового отношения. При производстве гипсовых материалов и изделий наибольший интерес проявляется к промышленному использованию таких модификаторов, как гиперпластификаторы. Их использование позволяет снизить водопотребление гипсовых суспензий на 30–35 %, что является весьма выгодным для снижения энергоемкости производимых изделий [9].

По строению полимер поликарбоксилатного пластификатора имеет гребенчатую структуру и состоит из основной цепи – поликарбоксильной кислоты и боковых алкиленоксидных ответвлений различной молекулярной массы [10].

Установлено, что пластифицирующий эффект и улучшение качества новообразований при модификации вяжущего проявляются при образовании двойного электрического слоя на поверхности вяжущих частиц при адсорбции поликарбоксилатных анионов. Известно, что в начале гидратации поверхность вяжущего имеет отрицательный заряд за счет выхода ионов кальция при гидратации с поверхности зерен вяжущего. Положительно заряженные ионы кальция в водной суспензии образуют первичный абсорбционный слой, с которым в свою очередь взаимодействуют анионные части поликарбоксилата, и поверхность частицы вяжущего приобретает отрицательный электрический заряд. При образовании двойного электрического слоя поверхностный электрический заряд компенсируется ионами [9]. Таким образом, согласно проведенным исследованиям гиперпластификаторов, применение данного вида добавок способствует существенному повышению прочностных характеристик получаемых гипсовых изделий и материалов, а также регулирует сроки схватывания, снижает водопоглощение, усадку, трещиноватость, повышает водостойкость, поверхностную твердость и адгезию к различным другим материалам. [11].

Целью данного исследования является разработка состава самонивелирующейся смеси на основе фторангидрита акционерного общества «ГалоПолимер» (г. Пермь), модифицированного химической добавкой – гиперпластификатором на основе поликарбоксилата фирмы «Стахема» Stahement 2060.

В качестве вяжущего в исследованиях использовался фторангидрит – отход производства предприятия ОАО «ГалоПолимер» г. Пермь, который согласно [12] в своем составе содержит более 92 % безводного сульфата кальция CaSO_4 и до 6 % активного оксида кальция, включая также фтористый кальций CaF_2 . Принимая во внимание значительное содержание извести в составе техногенного продукта, было принято решение дополнительно не включать в состав композита активатор твердения. Пластифицирующая добавка – гиперпластификатор на основе поликарбоксилата фирмы «Стахема» Stahement 2060. На основе проведенного анализа литературных источников и с учетом рекомендаций производителя концентрация добавки варьировалась от 0,5 до 2 %, с шагом 0,5 % для установления оптимального соотношения компонентов.

В ходе предварительной оптимизации состава было установлено влияние добавки на консистенцию вяжущего теста (рис. 1). Лабораторные исследования проводились согласно методикам, приведенным в ГОСТ 23789–79. Установлено, что при содержании пластификатора, равного 0,5 %, водовяжущее отношение снижается на 14 %.

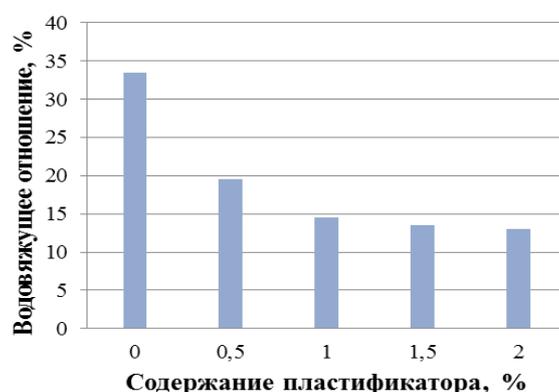


Рис. 1. Влияние пластификатора на нормальную густоту гипсового теста

Для установления механических свойств фторангидритовых композиций изготавливались образцы-балочки размером 40×40×160 мм, которые первые 24 часа выдерживались в формах, и после производилась их распалубка. Балочки хранились при $T = 20 \pm 2$ °С в течение 7 суток в условиях нормальной влажности. Испытания проводились на гидравлическом прессе ПГМ-100 МГ4. Результаты физико-механических испытаний представлены на рис. 2.

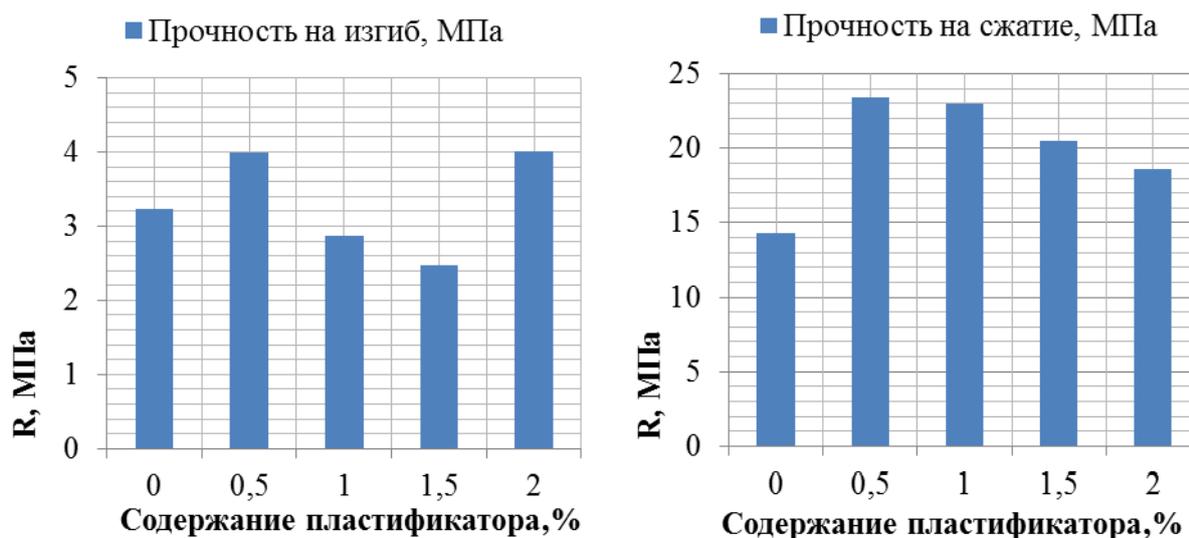


Рис. 2. Прочностные характеристики фторангидритового вяжущего при введении поликарбоксилатного пластификатора

Проанализировав представленные зависимости, можно сделать вывод, что при введении в состав вяжущего 0,5 % пластификатора достигается рост прочностных характеристик на 25 и 64 % соответственно. Значительный рост механических параметров обусловлен сокращением количества воды затворения, что приводит к уплотнению структуры композита.

Одной из технологических характеристик сухих смесей являются сроки схватывания, которые характеризуют жизнеспособность смеси и определяют время проведения работ по устройству наливных полов. Сроки схватывания оптимизированного состава при содержании пластификатора 0,5 % были определены согласно ГОСТ 23789–79. Результаты физико-технических характеристик разработанных составов представлены в таблице.

Технологические свойства фторангидритовой композиции

№	Содержание пластификатора, %	В/В, %	Сроки схватывания		Предел прочности в возрасте 7 дней, МПа	
			Начало	Конец	На изгиб	На сжатие
1	0	33,5	12 ч 40 мин	23 ч 10 мин	3,2	14,3
2	0,5	19,5	1 ч 30 мин	4 ч 25 мин	4,0	23,4

Таким образом, введение модификатора на основе поликарбоксилата в состав фторангидритового вяжущего способствует улучшению физико-технических характеристик ангидритовых растворов: снижается водовязущее отношение, повышается предел прочности на сжатие до 64 % при оптимальном содержании модификатора, за счет снижения водовязущего отношения, а следовательно, увеличения плотности и снижения пористости фторангидритового камня.

Работа выполнена в рамках государственного задания по заказу Минобрнауки России (проект 16.7823.2017/7.8).

Список литературы

1. *Ферронская, А. В.* Гипсовые материалы и изделия (производство и применение) // Справочник. – Издательство АСВ. – 488 с.
2. *Федорчук, Ю. М.* Оценка возможности применения твердых сульфатно-кальциевых отходов фтороводородной технологии в производстве строительных материалов / Ю. М. Федорчук, В. И. Верещагин, Л. В. Шимшина // Строительные материалы. – 2003. – № 4. – С. 24–5.
3. *Sergey Zolotukhin, Olga Kukina, Anatoly Abramenko.* Partitions for high-rise construction using phosphogypsum // E3S Web of Conferences 33–02043–2018.
4. *Федорчук, Ю. М.* Оценка влияния примесей на свойства техногенного ангидрита // Строительные материалы. – 2004. – № 3– С. 56–57.
5. Эффективные рецептуры и технологии в строительном материаловедении / Л. А. Аниканова, А. И. Курмангалиева, В. С. Казанцева, А. Т. Пискарева // Исследование вторичного гипсосодержащего сырья для получения строительных материалов :

Международный сборник научных трудов, Новосибирск, 2017 (Томск, Россия). – С. 168–172.

6. *Волков, Д. Л.* Перспективы использования фторангидридов в составе строительных материалов / Д. Л. Волков, К. В. Сагитов, Т. А. Плеханова // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке : IV Всероссийская научно-техническая конференция аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием, Ижевск (20–21 апреля 2016 г.). – 2016. – С. 698–703.

7. *Гранданс, О. Я.* Самонивелирующиеся гипсовые стяжки под полы // Строительные материалы. – 1990. – № 5. – С. 14.

8. *Федулов, А. А.* Полы для жилых и общественных зданий // Строительные материалы. – 2015. – № 7. – С. 60–62.

9. *Hamada D. et. al.* Development of New Superplasticizer Providing Ultimate Workability, ACI. – 2006. October 1. – P. 31–50.

10. Влияние комплексной добавки на основе поликарбоксилата и углеродных нанотрубок на физико-технические параметры гипсового вяжущего / С. А. Поторочина, В. А. Новикова, А. Ф. Гордина, М. Р. Бекмансуров // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке : IV Всероссийская научно-техническая конференция аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием, Ижевск (20–21 апреля 2016 г.). – 2016. – С. 776–783.

11. *Долгорев, В. А.* Высокоэффективные сухие строительные смеси для самонивелирующихся полов на основе низкомарочного гипсового вяжущего // Сборник докладов международного семинара-конкурс молодых ученых и аспирантов, работающих в области вяжущих веществ, бетонов и сухих смесей, ООО «Архитектурно-производственный комбинат» / докт. техн. наук, проф. В. И. Герасев. – М. : Экспоцентр, 2010. – С. 98–102.

12. ТУ 6-00-05807960-88-92. Нейтрализованный отход производства фтористого водорода (фторангидрит). Технические условия.

К. К. Ившина, студентка, email: Ivshin73@mail.ru

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Экологическая проблема вывоза снега в Ижевске

Природно-климатические условия значительной части территории России характеризуются большим количеством осадков в зимний период. Главной задачей городского хозяйства является уборка снега с улиц в зимний период. Сильные снегопады и гололедные явления способствуют образованию многочисленных «пробок», которые образуются на всех дорогах, и даже специальный транспорт не в состоянии проехать к месту назначения. В данной статье будет предложено решение этой экологической проблемы для города Ижевска.

Ключевые слова: снегоплавильная установка, Ижевск, снег, зима, город.

Природно-климатические условия значительной части территории России характеризуются большим количеством осадков в зимний период. Главной задачей городского хозяйства является уборка снега с улиц в зимний период. Сильные снегопады и гололедные явления способствуют образованию многочисленных «пробок», которые образуются на всех дорогах, и даже специальный транспорт не в состоянии проехать к месту назначения.

В городской местности уборка дорог является проблематичной, так как отсутствует место для складирования снега. Современная мощная дорожная техника способна сдвинуть снег к лотковой части дороги и отбросить его на необходимое расстояние за обочину. Однако в городской местности сразу за лотковой частью идет тротуар для прохода пешеходов, а за ним – дома. Поэтому снег необходимо вывозить из города, а это – процесс дорогостоящий.

Для сохранения городского бюджета можно предложить сеть сооружений, утилизирующих снег. Данные сооружения необходимо равномерно разместить вблизи города, чтобы избежать потерь на перевозку снега на большие расстояния. При решении этой проблемы необходимо учитывать целый ряд факторов, как экономических, так и экологических.

Цель – проанализировать климатическую ситуацию в городе в зимний период и подобрать оборудование для утилизации снегоуборки.

Согласно цели исследования были сформулированы следующие задачи:

1. Рассмотреть климатические данные города.
2. Найти способ решения экологической проблемы вывоза снега.

Ижевск – столица Удмуртской Республики, один из крупнейших промышленных центров Урало-Поволжского региона.

Ижевск расположен на востоке Восточно-Европейской равнины. Климат района – умеренно-континентальный с коротким теплым летом и достаточно продолжительной и холодной зимой. В течение года в среднем 162 дня с отрицательными температурами и 203 с положительными [3].

Зима начинается с конца ноября и длится до начала марта. С каждым годом зима становится все продолжительней и осадки в виде снега выпадают даже в конце апреля. В самый холодный месяц (январь) средняя температура обычно не поднимается выше $-14,6$ °С. Абсолютный минимум отмечен 31 декабря 1978 г., когда температура воздуха опустилась до $-47,5$ °С. Самый теплый месяц года – июль, средняя температура повышается до $+18,5$ °С, а абсолютный температурный суточный рекорд составляет $+37,0$ °С (24 июля 2010 г.). За год в Ижевске выпадает 508 мм осадков, из которых 18 % приходятся на весну, 35 % – на лето, 28 % – на осень и 19 % – на зиму [3].

В зимний период город часто испытывает затруднения. Многие улицы не успевают почистить, из-за этого на дорогах образуются большие «пробки». Специальный транспорт (скорая помощь, пожарная служба и т. д.) не могут проехать к месту назначения. От жителей города поступают многочисленные жалобы. Также важными причинами своевременного вывоза снега являются:

- Снег очень хорошо впитывает химические вещества [2].
- Наличие антигололедных покрытий. Такие покрытия используются для устранения наледи. Они также впитываются в снежные массы, а если снег своевременно не вывезти, то проникают в почвы, пагубно влияя на них [2].
- Талые воды в весенний период [2].

По вышеизложенным причинам нельзя производить сброс снега в ближайшие овраги и канавы. Снежные массы не рекомендуется оставлять на территории города. Скопление снега нарушает плохую экологию города. Услуги по уборке снега должны осуществляться опытными специалистами, в распоряжении которых имеется специальная техника. Весь снег необходимо вывозить на полигоны и устранять установленным способом. При этом вредные вещества не принесут никакого вреда окружающей среде – воздуху, почве и грунтовым водам [2].

Для решения экологической проблемы вывоза снега предлагается строительство снегоплавильной установки вблизи города.

Снегоплавильная установка (снеготаялка) – устройство для переработки (плавления) снега и слива полученной воды в канализацию или на землю.

Для того чтобы уменьшить расходы на транспортные услуги перевозки снега, необходимо построить 3 станции вблизи города. Предложены следующие территории:

- Машиностроитель.
- Metallург.
- Завьялово.

Главным критерием выбора места стало наличие водных ресурсов.

Существует множество видов снегоплавильных установок, таких как [1]:

- Снегоплавильный комплекс с дробильной установкой.
- Пункты с погружными горелками.
- Однокоридорный.
- Пункт с песכולовкой. Модернизированный вариант однокоридорного.

Для нашего города подходит строительство снегоплавильного комплекса с дробильной установкой. На стационарных станциях над отстойником вместо крупноячеистой решетки устанавливают дробильную установку. Такая замена позволяет не привлекать дополнительную гусеничную технику для размягчения снежных масс. Вдобавок в процессе измельчения происходит дополнительное таяние снега. На таком пункте суточная норма переработки снежно-ледяных образований может достигать 2400 тонн. Стоимость данного комплекса составит 46,2 млн руб. за штуку [1].

Заключение

Зимний период для городской местности является неблагоприятным. Из-за многочисленных осадков возникает множество проблем. В настоящее время в наших силах есть возможность повлиять на эти проблемы и устранить их. Одной из проблем городской местности является своевременная очистка улиц от снега. Последствия данной проблемы очень негативно сказываются на экологии.

Для устранения проблемы залеживания снежных масс на улицах города необходимо строительство снегоплавильных установок.

Список литературы

1. Все о переработке вторсырья и утилизации отходов [Электронный ресурс]. – URL: <https://rcycle.net>, свободный. – Загл. с экрана. <https://rcycle.net/sneg-iled/snegoplavilnaya-tehnika/punkty-i-stancii>
2. Группа компаний Амодор [Электронный ресурс]. – URL: <https://амодор.рф>, свободный. – Загл. с экрана. https://амодор.рф/poleznyie_stati/vyivoz_snega._pochemu_eto_tak_vazhno.html.
3. Прогноз погоды [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.meteo-tv.ru>, свободный. – Загл. с экрана. <http://www.meteo-tv.ru/rossiya/udmurtskaya-respublika/izhevsk/weather/climate>.

А. В. Исаев, магистрант

Н. Д. Узаков, студент, email: nikitauzakov2@gmail.com

Н. А. Вершинина, студентка

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Сравнение тепловых потерь при мезофильном и термофильном анаэробном режиме сбраживания

Анаэробное сбраживание классифицируется по температурным режимам на три типа: термофильный, мезофильный и психрофильный. Причем психрофильный режим применяется крайне редко, так как не обеспечивает достаточного обеззараживания отходов. В данной работе приводится сравнение тепловых потерь при термофильном и мезофильном режимах сбраживания.

Ключевые слова: биогаз, мезофильный, термофильный, тепловые потери.

Биогаз – это газ, состоящий преимущественно из метана и углекислого газа, состав газа изменяется в зависимости от вида сбраживаемых отходов, обычно в пределах 60–70 % метана, 30–40 % углекислого газа [3]. При выработке биогаза применяется анаэробное сбраживание в специальном сосуде – метантенке (биореакторе), сбраживание осуществляется специальными бактериями. Температура сбраживания определяется режимом: при термофильном режиме рабочая температура в реакторе 50–55 °С, при мезофильном – 36–39 °С, при психрофильном – 20–25 °С [2]. Как говорилось ранее, психрофильный режим не обеспечивает высокого обеззараживания сырья, что снижает возможность использования переработанных отходов в качестве удобрений.

Термофильный и мезофильный режимы помимо рабочей температуры отличаются временем сбраживания. Время оборота реактора – время, за которое свежее сырье, загруженное в реактор, перерабатывается, и его выгружают из реактора. При непрерывной системе загрузки среднее время сбраживания определяется отношением объема реактора к объему загрузки.

Как правило, время оборота реактора выбирают из следующих интервалов:

- время оборота реактора при мезофильном режиме от 10 до 20 суток;
- время оборота реактора при термофильном режиме от 5 до 10 суток [1].

По данным, предоставленным производителем биогазовых установок ООО «Гильдия М», плотность теплового потока через стенки реактора, при температуре наружного воздуха $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$, составит:

- для мезофильного режима ($+36\dots+39\text{ }^{\circ}\text{C}$) $36,17\dots37,75\text{ Вт/м}^2$;
- для термофильного режима ($+50\dots+55\text{ }^{\circ}\text{C}$) $43,33\dots45,83\text{ Вт/м}^2$.

Произведем оценку тепловых потерь при мезофильном и термофильном режимах.

Производительность реактора по субстрату:

$$G = M / \tau_{100\%}, \text{ кг/ч}, \quad (1)$$

где M – масса полная подлежащая переработке, кг; $\tau_{100\%}$ – время сезона, ч.

Масса субстрата в реакторе:

$$m_1 = G / \Delta\tau_{\text{сбр}}, \text{ кг}, \quad (2)$$

где $\tau_{\text{сбр}}$ – время оборота реактора при данном режиме, ч.

Объем субстрата в реакторе:

$$W = m_1 / \rho, \text{ м}^3, \quad (3)$$

где ρ – плотность субстрата, кг/м^3 .

Объем субстрата в реакторе при термофильном режиме:

$$W_T = \frac{m_{1T}}{\rho} = \frac{G \cdot \Delta\tau_{\text{сбр}T}}{\rho} = \frac{M}{\tau_{100\%}} \cdot \frac{\Delta\tau_{\text{сбр}T}}{\rho}, \text{ м}^3. \quad (4)$$

Объем субстрата в реакторе при мезофильном режиме:

$$W_M = \frac{m_{1M}}{\rho} = \frac{G \cdot \Delta\tau_{сбрM}}{\rho} = \frac{M}{\tau_{100\%}} \cdot \frac{\Delta\tau_{сбрM}}{\rho}, \text{ м}^3. \quad (5)$$

Связь между объемом реактора и площадью его поверхности S :

А) куб со стороной a :

$$S = 6 \cdot a^2 = 6 \cdot \frac{W}{a}, \text{ м}^2; \quad (6)$$

Б) цилиндр

$$S = W \cdot \frac{2 + \frac{4 \cdot H}{D}}{H}, \text{ м}^2; \quad (7)$$

$$\text{при } S = \frac{H}{D} = 0,5 \quad S = \frac{W \cdot 4}{H}, \text{ м}^2; \quad (7.1)$$

$$\text{при } S = \frac{H}{D} = 2 \quad S = \frac{W \cdot 10}{H}, \text{ м}^2, \quad (7.2)$$

где S – площадь поверхности, м^2 ; W – объем куба и цилиндра соответственно, м^3 ; H – высота цилиндра, м ; D – диаметр цилиндра, м .

Теплопотери через поверхность цилиндрического реактора за все время $\tau_{100\%}$ переработки массы субстрата M :

А) при термофильном режиме

$$\begin{aligned} Q_T &= K_T \cdot (t_T - t_{окр}) \cdot S_T \cdot \tau_{100\%} = K_T \cdot (t_T - t_{окр}) \cdot W_T \cdot \left[\frac{2 + \frac{4 \cdot H}{D}}{H} \right] \cdot \tau_{100\%} = \\ &= K_T \cdot (t_T - t_{окр}) \cdot \frac{M}{\tau_{100\%}} \cdot \frac{\Delta\tau_{сбрT}}{\rho} \cdot \left[\frac{2 + \frac{4 \cdot H}{D}}{H} \right] \cdot \tau_{100\%} = \\ &= K_T \cdot (t_T - t_{окр}) \cdot M \cdot \frac{\Delta\tau_{сбрT}}{\rho} \left[\frac{2 + \frac{4 \cdot H}{D}}{H} \right], \text{ Дж}; \end{aligned} \quad (8.1)$$

Б) при мезофильном режиме

$$K_T \cdot (t_T - t_{\text{окр}}) \cdot M \cdot \frac{\Delta\tau_{\text{сбр}T}}{\rho} \left[\frac{2 + \frac{4 \cdot H}{H}}{H} \right], \text{ Дж}; \quad (8.2)$$

где K_T и K_M – коэффициенты теплопередачи при термофильном и мезофильном режиме соответственно, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \cdot \text{К}$.

Поскольку производителем заданы удельные тепловые потери, то, зная их, можно найти коэффициент теплопередачи по следующему соотношению:

$$K_M = \frac{q_M}{t_M - t_{\text{окр}}} = \frac{36,96}{37,5 - (-35)} = 0,507 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

$$K_T = \frac{q_T}{t_T - t_{\text{окр}}} = \frac{44,58}{52,5 - (-35)} = 0,509 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Расход теплоты, с учетом расхода теплоты на нагрев субстрата до рабочей температуры и тепловых потерь, определяется по формуле

$$Q_M = C_{\text{СУБС}} \cdot (t_M - t_{\text{исх}}) \cdot M + K_M \cdot (t_M - t_{\text{окр}}) \cdot M \cdot \frac{\Delta\tau_{\text{сбр}M}}{\rho} \left[\frac{2 + \frac{4 \cdot H}{D}}{H} \right], \text{ Дж}; \quad (9.1)$$

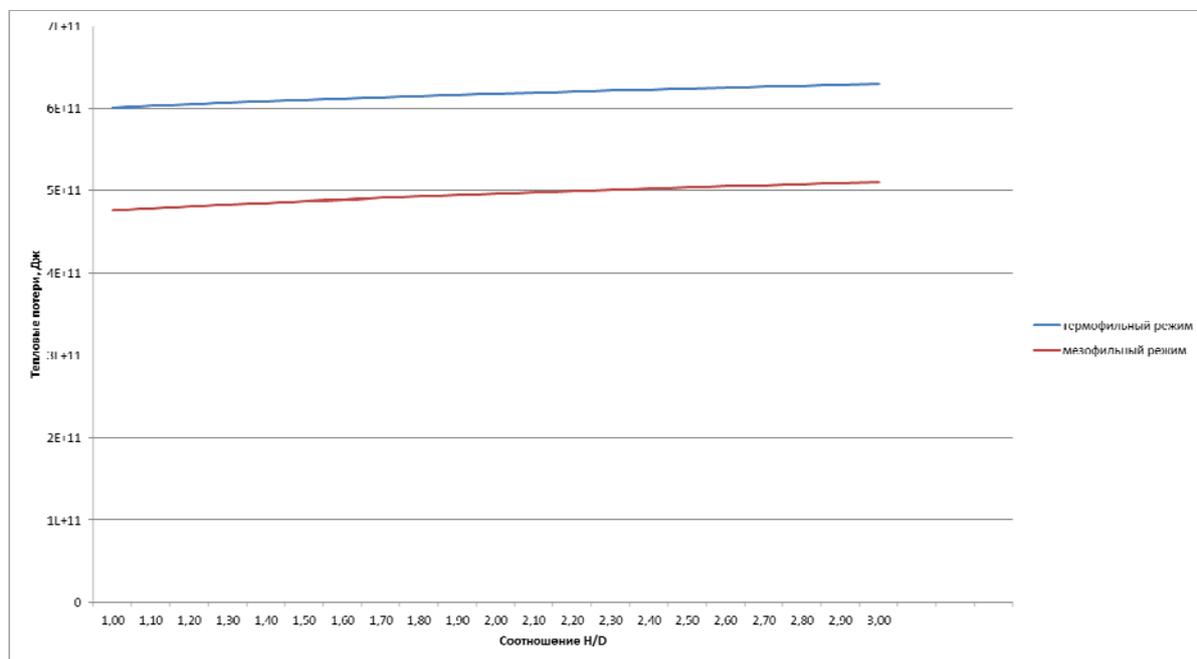
$$Q_T = C_{\text{СУБС}} \cdot (t_T - t_{\text{исх}}) \cdot M + K_T \cdot (t_T - t_{\text{окр}}) \cdot M \cdot \frac{\Delta\tau_{\text{сбр}T}}{\rho} \left[\frac{2 + \frac{4 \cdot H}{D}}{H} \right], \text{ Дж}; \quad (9.2)$$

где $C_{\text{СУБС}}$ – теплоемкость субстрата, т. к. субстрат должен быть 92 % влажности, то можно условно принять теплоемкость равной $4190 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Как видно из вышеприведенных соотношений теплотопери, для реактора цилиндрической формы во многом определяются соотношением высоты и диаметра.

Путем анализа полученных формул тепловых потерь был получен график (рисунок). Расчет был проведен для массы органических отходов производи-

мых 2000 куриц на протяжении отопительного периода (количества дней с температурой ниже 8 °С) для УР.



Тепловые потери в зависимости от соотношения высоты реактора к его диаметру для термофильного и мезофильного режимов

Из настоящего графика наглядно видно, что термофильный режим менее экономичен по тепловым потерям, однако при выборе реактора следует учитывать и то, что по объему реактор, работающий в мезофильном режиме, будет в два раза больше, чем реактор такой же производительности при термофильном режиме, что приведет к росту капитальных затрат.

Список литературы

1. URL: <http://www.rosbiogas.ru/literatura/rukovodstvo-po-biogazovim-technologiyam/vremya-sbrazhivaniya.html> (дата обращения: 23.02.2018).
2. Канализация / С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, А. И. Жуков, С. А. Колобанов. – М. : Стройиздат, 1975. – С. 277–279.
3. Гелетуха, Г. Г. Современные технологии сбраживания биомассы / Г. Г. Гелетуха, С. Г. Кобзарь // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – № 4. – С. 6–7.

Р. М. Исмаилов, студент

Л. В. Волкова, канд. техн. наук, доц., e-mail: ludmila396@rambler.ru;

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Прибор для оценки упругих модулей металлоконструкций

Упругие свойства твердых тел являются ключевыми свойствами при проектировании металлоконструкций. Основными свойствами, которые характеризуют упругое поведение материалов, являются модуль упругости и коэффициент Пуассона. В статье описывается прибор измерения упругих модулей. Разрабатываемый прибор является ультразвуковым прибором оценки упругих модулей по скоростям поперечной и релеевской волн.

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента России для молодых кандидатов наук № МК-6599.2018.8.

Ключевые слова: ультразвук, модули упругости, неразрушающий контроль, металлопроизводство, поперечная волна, релеевская волна.

Введение

Основными свойствами, которые характеризуют упругое поведение изотропных материалов, являются модуль упругости и коэффициент Пуассона. В справочных данных даются значения об упругих свойствах многих сталей, однако, значения варьируются в зависимости от технологии изготовления и изменения легирующих элементов [1–2].

Поэтому предприятиями изготовителям сталей необходим прибор измерения упругих модулей для сортировки металла по маркам стали.

По величине упругих характеристик материала можно оценить напряженное состояние металла [3]. На сегодняшний момент стандарты предполага-

ют, что при расчете характеристик газопровода на прочность учитываются модуль упругости и коэффициент Пуассона, характерные для марки стали, из которой изготовлено изделие, что вносит значительный вклад в погрешность измерения указанных параметров. Поэтому необходим, надежный и воспроизводимый метод для точного измерения упругих модулей.

Основными методами оценки модулей упругости на сегодняшний момент являются разрушающие методы, которые проводятся после операций выплавки стали, а методов контроля модулей упругости в изделиях, находящихся в процессе эксплуатации, не существует.

Оборудование и экспериментальные исследования

Одним из методов оценки упругих характеристик материалов является ультразвуковой метод, основанный на измерении скоростей ультразвуковых волн. Ультразвуковой метод использует принцип измерения упругих модулей по скорости распространения волн и позволяет измерять упругие характеристики металлов не только в процессе изготовления, но и эксплуатации. В частности, для уменьшения погрешности измерений используется поперечная и рэлеевская волна, возбуждаемые одновременно.

Устройство для определения модуля упругости толстолистового проката состоит из универсального ультразвукового дефектоскопа и двух пьезоэлектрических преобразователей с переменным углом ввода, преобразователи соединены между собой фиксирующей кареткой. Полученные результаты с дефектоскопа передаются на персональный компьютер для дальнейшей обработки (рис. 1).

Угол ввода преобразователей и расстояние между ними выбирается таким образом, чтобы наблюдать на эхограмме принятого сигнала (рис. 2) два вида волны – поперечную и рэлеевскую, с максимальным их разделением друг от друга Δ . Выбор угла и расстояния зависит от толщины изделия и максимальной чувствительности приема ультразвуковых волн.

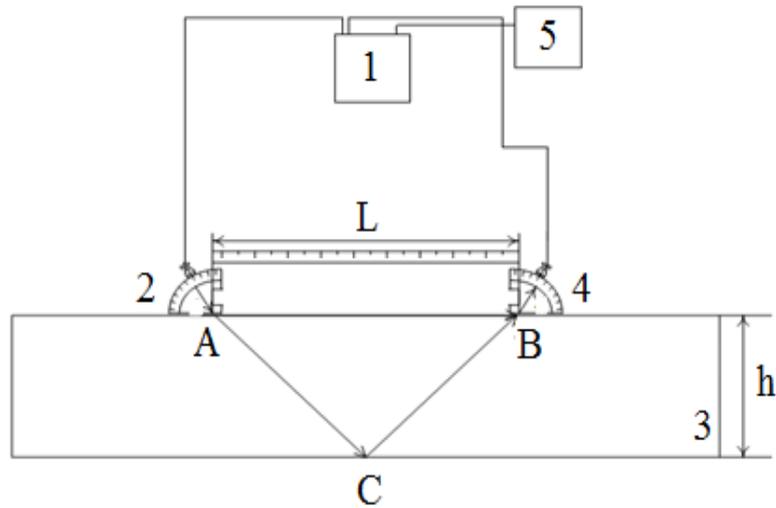


Рис. 1. Блок-схема прибора для оценки упругих модулей: 1 – дефектоскоп; 2 – излучающий ПЭП; 3 – объект контроля; 4 – принимающий ПЭП; 5 – персональный компьютер; L – база преобразователя; h – толщина объекта контроля; ABC – траектория распространения поперечной волны; AB – траектория распространения рэлеевской волны

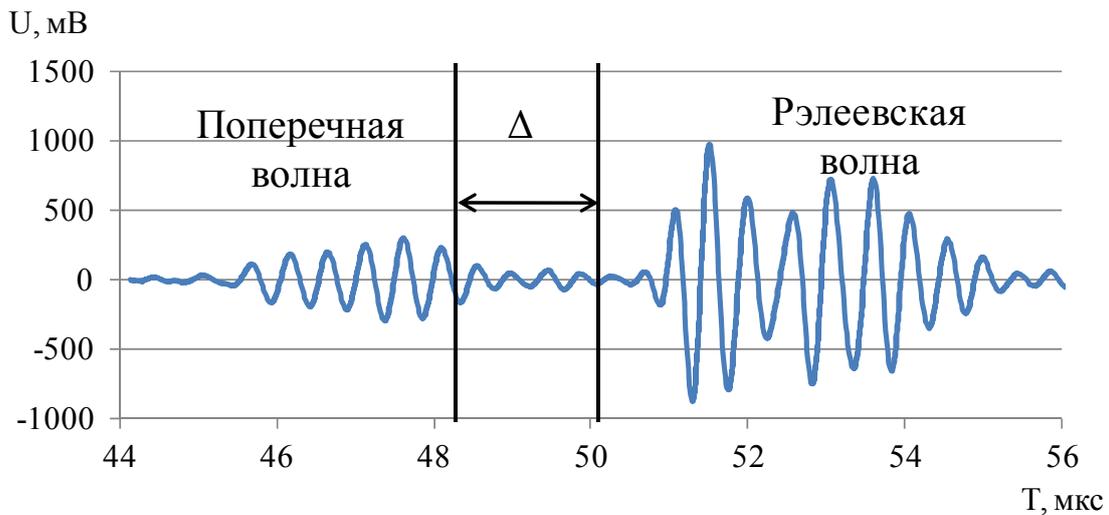


Рис. 2. Эхограмма принятого импульса

По скорости распространения рэлеевской и поперечной волн рассчитывают коэффициент Пуассона, модуль сдвига и модуль Юнга, соответственно, по формулам:

$$v = \frac{C_R - 0,87 \cdot C_t}{1,12 \cdot C_t - C_R}, \quad (1)$$

$$G = 4 \cdot C_t^2 \cdot \rho; \quad (2)$$

$$E = 2 \cdot G \cdot (\nu + 1), \quad (3)$$

где C_t – скорость поперечной волны; C_R – скорость рэлеевской волны; ρ – плотность материала образца (7800 кг/м³).

По разработанной методике и оборудованию была проведена оценка упругих модулей шести образцов. Для определения марки стали был проведен рентгено-флуоресцентный анализ химического состава исследуемых объектов при помощи X-MET 5000. По результатам рентгено-флуоресцентного анализа все образцы имели сталь марки Сталь 20.

По результатам измерений, разработанным оборудованием, полученные значения скоростей поперечной волны $C_t=3304$ м/с и рэлеевской $C_R=3056$ м/с, коэффициент Пуассона $\nu=0,28$, что соответствует значению для данной марки стали.

Вывод

В результате реализации методики оценки упругих модулей разработан прибор и методика оценки коэффициента Пуассона и модуля упругости с относительной погрешностью 1 %.

Список литературы

1. *Муравьев, В. В.* Прибор для исследований акустоупругих характеристик тонких проволок / В. В. Муравьев, Д. В. Злобин, А. В. Платунов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2017. – Т. 60. № 6. – С. 572–577.
2. *Муравьев, В. В.* Исследование акустоупругих характеристик тонких проволок / В. В. Муравьев, А. В. Платунов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2017. – Т. 60. № 7. – С. 679–684.
3. *Муравьев, В. В.* К вопросу об акустической структуроскопии сварных соединений рельсов / В. В. Муравьев, И. В. Булдакова, Л. В. Гущина // Сварка и диагностика. – 2017. – № 6 (66). – С. 28–31.

Ю. Л. Караваев, канд. физ.-мат. наук, доц.

А. В. Клековкин, аспирант

В. А. Шестаков, магистрант, e-mail: slafik9526@gmail.com

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Разработка мобильного омниколесного робота с манипулятором

В статье представлено описание конструкции мобильного манипуляционного робота. В качестве основания манипулятора предлагается использовать мобильную платформу с омниколесами. Рассмотрена прямая позиционная задача, приведены результаты численного моделирования для прямой задачи кинематики как для манипулятора в отдельности, так и для мобильного манипуляционного робота.

Ключевые слова: мобильный омниколесный робот, мобильный манипулятор, манипуляционный робот, кинематика, зона обслуживания.

Мобильные манипуляционные роботы (ММР) представляют собой мобильную платформу, на которой размещаются манипуляционные и захватные механизмы. В общем случае, мобильные роботы, оснащенные манипулятором, могут выполнять различные технологические операции захвата, переноса и манипулирования предметами.

В данной работе предполагается использование ММР для осуществления операций манипулирования, таких как захват и перенос объектов из точки в точку в пределах рабочей зоны. В качестве основания манипулятора предлагается использовать мобильную платформу с омниколесами. Для определения возможности выполнения требуемых операций манипулирования представлено построение рабочей зоны ММР на омниколесной платформе.

1. Прямая задача кинематики

1.1. Структурная схема ММР

Структурная схема ММР представлена на рис. 1, а. Фотография мобильного манипуляционного робота представлена на рис. 1, б. Мобильная платформа представлена в виде трех отдельных кинематических пар, имеющих одну степень свободы. Манипулятор представляет собой последовательно соединенные три вращательные кинематические пары. Таким образом, ММР представляет собой пространственный механизм, состоящий из шести кинематических пар пятого класса.

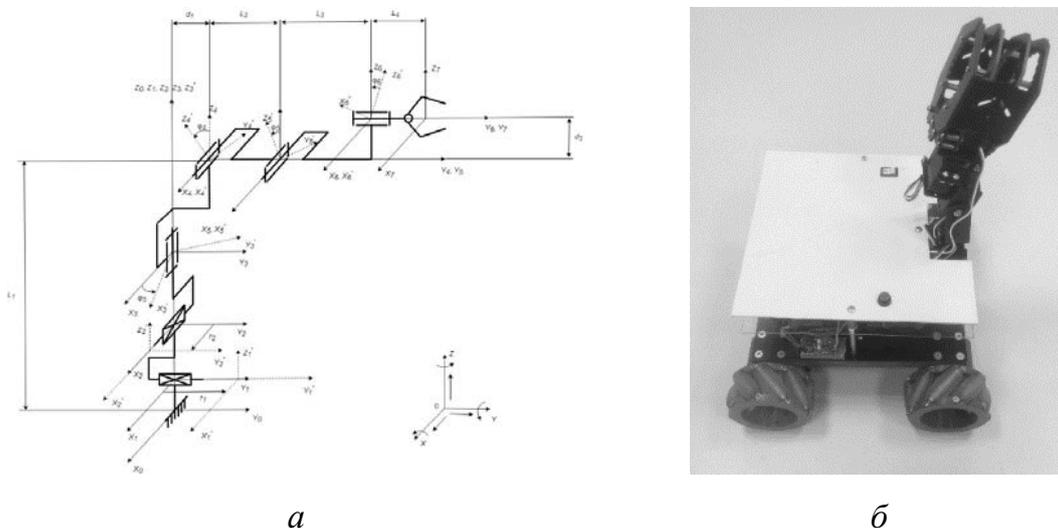


Рис. 1: а – структурная схема ММР; б – фотография ММР

Объединение мобильной омниколесной платформы и манипулятора, работающего в двумерной системе координат, приводит к созданию мобильного манипуляционного робота, позволяющего работать с объектами в трехмерном пространстве. Предложенный тип конструкции робота может оказаться востребованным при осуществлении погрузочно-разгрузочных и других складских работ, а также в сфере обслуживания человека.

1.2. Рабочая зона ММР

При построении рабочей зоны ММР кинематика мобильной платформы и манипулятора рассматриваются отдельно. Подробное описание работ, а также

исследование кинематики и динамики рассматриваемой мобильной платформы можно найти в работах [1–3].

Опишем кинематическую модель ММР. Положение схвата манипулятора в базовой системе координат определяется вектором-столбцом, равным четвертому столбцу матрицы ${}^0_i\mathbf{T}$, первые три элемента которого это координаты рабочей точки схвата в базовой системе координат [4]. Итоговая матрица преобразований ${}^0_7\mathbf{T}$ для рассматриваемой конструкции ММР имеет вид:

$${}^0_7\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \mathbf{r}_{11} & \mathbf{r}_{12} & \mathbf{r}_{13} & \mathbf{p}_x \\ \mathbf{r}_{21} & \mathbf{r}_{22} & \mathbf{r}_{23} & \mathbf{p}_y \\ \mathbf{r}_{31} & \mathbf{r}_{32} & \mathbf{r}_{33} & \mathbf{p}_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$c_i = \cos \varphi_i, s_i = \sin \varphi_i, \mathbf{r}_{11} = c_3 c_6 - s_6 (c_4 s_3 s_5 + s_3 s_4 s_5),$$

$$\mathbf{r}_{12} = -c_4 c_5 s_3 + s_3 s_4 s_5, \mathbf{r}_{13} = c_3 c_6 + s_6 (c_4 s_3 s_5 + s_3 s_4 s_5),$$

$$\mathbf{r}_{21} = c_6 s_3 - s_6 (-c_3 c_4 s_5 - c_3 c_5 s_4), \mathbf{r}_{22} = c_3 c_4 c_5 - c_3 s_4 s_5,$$

$$\mathbf{r}_{23} = c_6 (-c_3 c_4 s_5 - c_3 c_5 s_4) + s_3 s_6, \mathbf{r}_{31} = -s_6 (c_4 c_5 - s_4 s_5),$$

$$\mathbf{r}_{32} = c_4 c_5 + c_5 s_4, \mathbf{r}_{33} = c_6 (c_4 c_5 - s_4 s_5),$$

$$\mathbf{p}_x = -c_4 L_2 s_3 + d_3 (c_4 s_3 s_5 + s_3 s_4 s_5) + r_0 + (L_3 + L_4) (-c_4 c_5 s_3 + s_3 s_4 s_5),$$

$$\mathbf{p}_y = c_3 c_4 L_2 + d_2 (-c_4 s_3 s_5 - c_3 c_5 s_4) + r_1 + d_1 + (L_3 + L_4) (c_3 c_4 c_5 + c_3 s_4 s_5),$$

$$\mathbf{p}_z = d_3 (c_4 c_5 - s_4 s_5) + L_1 + L_2 s_4 + (L_3 + L_4) (c_4 c_5 + c_5 s_4).$$

На основе полученной кинематической модели построена рабочая зона выбранного манипулятора. Рабочая зона манипулятора представлена на рис. 2, построение производилось для следующих значений параметров, все указанные геометрические параметры представлены в сантиметрах:

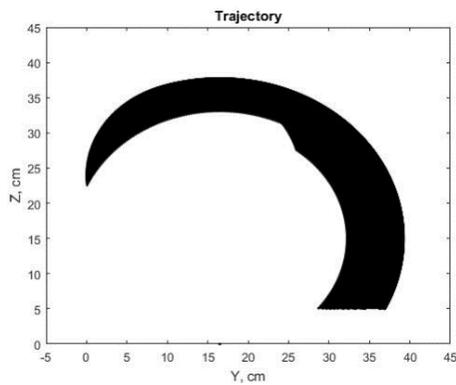
$$L_1 = 15; L_2 = 9,5; L_3 = 5; L_4 = 8; d_1 = 0; d_3 = 2,5; r_1 = 0; r_2 = 0;$$

$$\varphi_3 = 0, \varphi_4 = -30, \dots, 110, \varphi_5 = -105, \dots, 65, \varphi_6 = -90, \dots, 90.$$

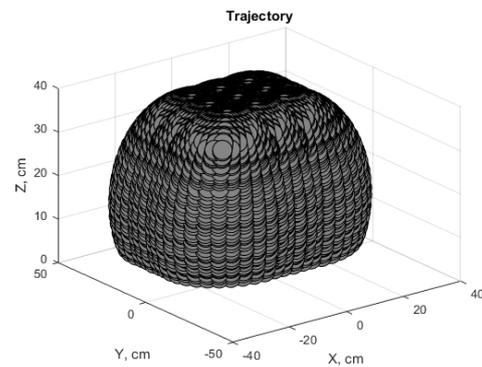
Также построена рабочая зона мобильного манипуляционного робота, представленная на рис. 2, построение производилось при следующих параметрах:

$$L_1 = 15, L_2 = 9,5, L_3 = 5, L_4 = 8, d_1 = 11, d_3 = 2,5, r_1 = -10, \dots, 10, r_2 = -10, \dots, 10,$$

$$\varphi_3 = -180, \dots, 180, \varphi_4 = -30, \dots, 110, \varphi_5 = -105, \dots, 65, \varphi_6 = -90, \dots, 90.$$



a



б

Рис. 2: *a* – рабочая зона манипулятора; *б* – рабочая зона ММР

Заключение

В данной работе приведено описание конструкции и решение прямой позиционной задачи для ММР. В дальнейшем исследования будут направлены на разработку формальных алгоритмов управления мобильным манипулятором на основе решения обратной задачи кинематики и разработка динамической модели для задач транспортировки объектов.

Список литературы

1. *Караваяев, Ю. Л.* Дискретный алгоритм управления по отклонению мобильным роботом с омниколесами / Ю. Л. Караваяев, С. А. Трефилов // *Нелинейная динамика*. – 2013. – Т. 9. № 1. – С. 91–100.
2. *Борисов, А. В.* Тележка с омниколесами на плоскости и сфере / А. В. Борисов, А. А. Килин, И. С. Мамаев // *Нелинейная динамика*. – 2011. – Т. 7. № 4. – С. 785–801.
3. *Kilin A, Bozek P, Karavaev Yury, Klekovkin A, Shestakov V.* Experimental investigations of a highly maneuverable mobile omniwheel robot (2017) // *International Journal of Advanced Robotic Systems* vol. 14, no. 6, pp. 1-9. doi:10.1177/1729881417744570.
4. *Крейг, Д. Дж.* Введение в робототехнику: механика и управление. – М. – Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2013. – 564 с.

М. В. Караваева, аспирант, e-mail: avdeeva_maria_@mail.ru
ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Система технического зрения для определения количественных характеристик дефектов стен зданий

В статье рассматривается система технического зрения позволяющая определять вид и количественные характеристики дефектов стен зданий. Определение геометрических характеристик стен реализуется на основе анализа искажения структурированной сетки, проецируемой на стены. Обсуждается состав системы технического зрения и алгоритм обработки данных для восстановления количественных параметров геометрии стен.

Работа выполнена в рамках программы «УМНИК» при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (№10755ГУ/2016).

Ключевые слова: структурированная подсветка, захват изображения, техническое зрение, цифровая обработка изображений.

Введение

В настоящее время с увеличением объемов строительства подрядчики не редко пренебрегают качеством работ, что впоследствии сказывается на эксплуатации жилья владельцами и может вылиться в значительные финансовые траты по устранению дефектов строительства и негативно отразится на удовлетворенности потребителей строительного рынка. Наиболее часто встречающимися дефектами являются отклонение стены от вертикальности, выпуклости и вогнутости на стенах, отклонения углов сопряжения стен от значения в 90 градусов, конусность дверных и оконных проемов. Проверка геометрических ха-

рактических стен является крайне трудоемкой процедурой, требующей наличия дорогостоящего высокоточного технического оборудования, которого очень часто нет даже у строителей. Существующие инструменты и способы измерения позволяют провести замеры только в отдельных точках, что не дает полной картины о ровности стен.

В данной работе предлагается система технического зрения, позволяющая восстановить трехмерные координаты стен за счет анализа деформации структурированной сетки, проецируемой на них. Подобные принципы сканирования трехмерных объектов широко используются для различных технических приложений [1, 2].

Описание системы технического зрения

Основными структурными элементами системы технического зрения со структурированной подсветкой для определения дефектов стен являются проекционная система и приемная (регистрирующая) система (рис. 1). Проекционная система обеспечивает проецирование структурированной сетки, по «деформации» которой в дальнейшем планируется определять отклонения геометрических характеристик стен от требуемых. В настоящее время распространены два вида проекционных систем: цифровой оптический проектор и лазерный проектор.

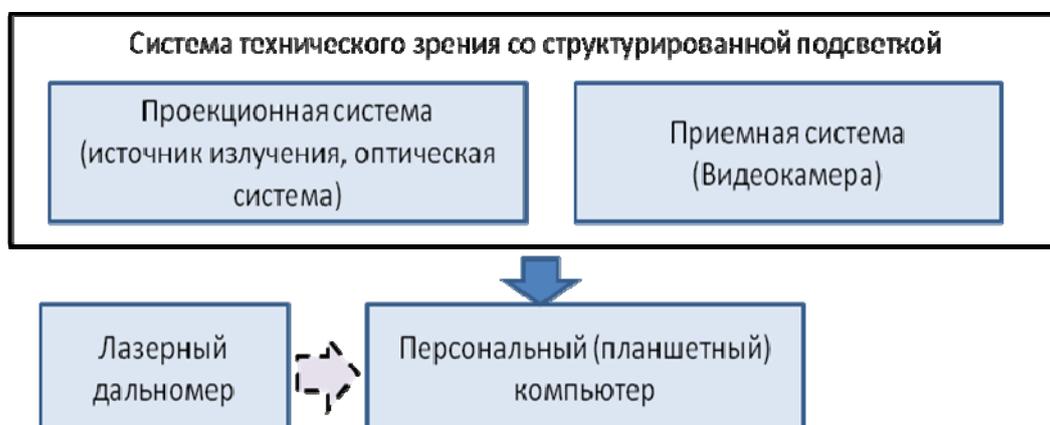


Рис. 1. Функциональная схема устройства для определения дефектов стен

После захвата изображения с камеры и преобразования информации с учетом калибровки системы с изображением выполнялся ряд операций, цель которых увеличить качество характерных признаков, по которым восстанавливались геометрические характеристики стен.

Существует большое количество методов, обеспечивающих решение задачи выделения существенных признаков на изображении, а также подходов их классификации. Алгоритм работы всех подобных методов основан на определении разности интенсивности цвета элементов и фона изображения [3]. Наиболее распространенными математическими операторами, которые используются для обработки, являются матричные маски [3, 4]: матрица Робертса, функция Превитта, функция Собела, метод Канни, оператор Лапласиан.

Следующим этапом после выделения границ является процесс выделения ключевых точек (перекрестий). Выделение ключевых точек реализовано с использованием функций библиотеки OpenCV по градиентному методу. Далее полученные координаты ключевых точек сравниваются с координатами ключевых точек в случае проекции на абсолютно ровную вертикальную плоскость. При наличии на стене дефектов проецируемое изображение исказится (см. пример на рис. 2).

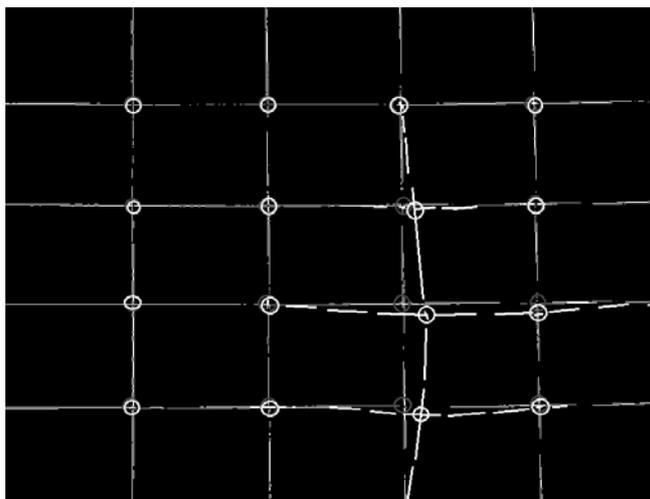


Рис. 2. Искажение проецируемого изображения структурированной сетки при наличии дефекта

Отклонение каждой ключевой точки на изображении соответствует наличию в данной области дефекта. Равнозначное изменение расстояния между точками, расположенными на соответствующих вертикальных линиях, является индикатором отклонения стены от вертикали, т. е. ее наклона. Изменение расстояния между рассматриваемой ключевой точкой и соседними соответствует наличию в этой точке выпуклости или вогнутости.

В дальнейшем планируется восстанавливать количественные характеристики обнаруженных дефектов и выделять их на карте помещения.

Список литературы

1. *Горевой, А. В.* Методы восстановления трехмерной структуры объектов для многоканальных систем регистрации с использованием структурированной подсветки / А. В. Горевой, В. Я. Колочкин // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Приборостроение. – 2012. – Вып. 12. – С. 185–201.

2. *Караваев, Ю. Л.* Мультисенсорная информационно-измерительная система мобильного робота для реализации движения в недетерминированной среде / Ю. Л. Караваев, А. В. Клековкин, С. К. Лесин // Интеллектуальные системы в производстве. – 2016. – Т. 14 (4). – С. 111–115.

3. *Гонзалес, Р.* Цифровая обработка изображений / Р. Гонзалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2006. – 1072 с.

4. *Шапиро, Л.* Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.

Е. В. Касаткина, канд. физ.-мат. наук, доц., e-mail: kasatkina@istu.ru

Ю. А. Логинова, магистрант, e-mail: loginovajulia@inbox.ru

М. Г. Шаймарданов, аспирант

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Математическое моделирование и оптимизация дорожного движения

В данной статье представлена математическая модель оптимизации транспортного потока в условиях светофорного регулирования по критерию снижения очереди на перекрестках. Рассмотрена система из группы взаимосвязанных перекрестков и построена математическая модель зависимости количества автомобилей в системе от параметров светофорного регулирования.

Ключевые слова: математическое моделирование, оптимизация, транспортный поток, светофорное регулирование.

В настоящее время остро стоит проблема управления транспортными потоками, особенно в больших городах. Увеличение количества транспортных средств (ТС), как личных, так и общественных (рис. 1), привело к перегруженности городских дорог, многочасовым пробкам, затруднению движения пешеходов, увеличению количества аварий и т. д.

Процесс образования очереди на каждой из сторон перекрестка будем моделировать с применением технологии системы массового обслуживания.

Интенсивность движения автомобилей через перекресток определим как функцию от времени работы зеленого сигнала светофора τ и продолжительности цикла светофора T :

$$\mu(\tau) = \frac{3600}{T} f(\tau). \quad (1)$$

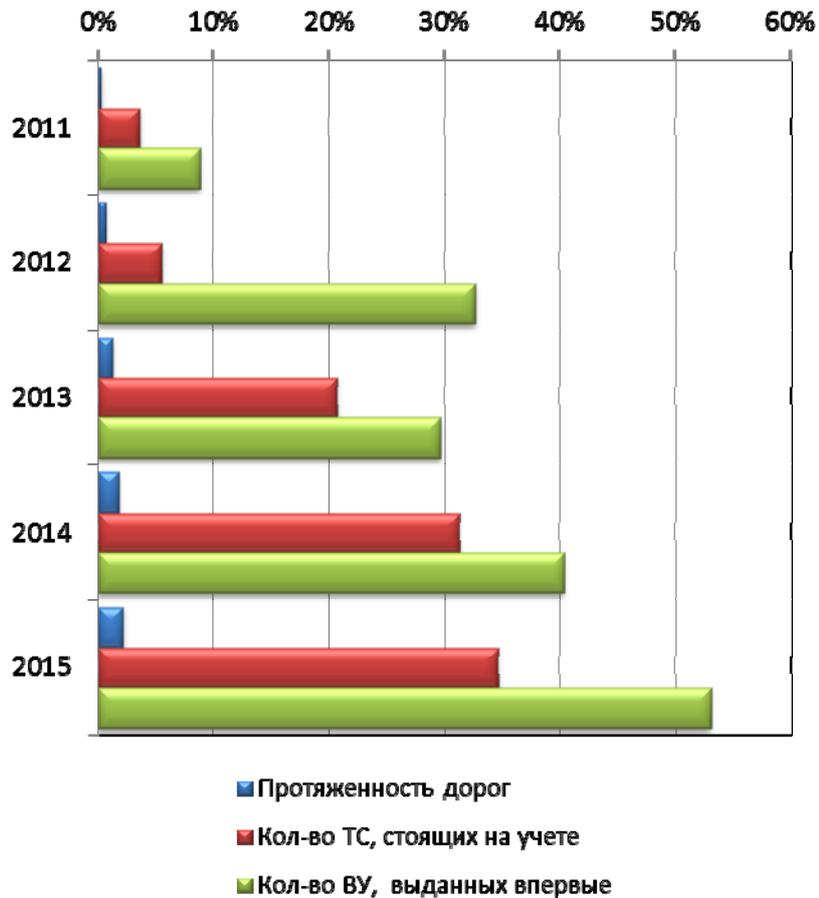


Рис. 1. Статистика темпов роста показателей транспортной инфраструктуры в Удмуртской Республике

Функция $f(\tau)$ является кусочно-непрерывной функцией и проходит 3 периода:

- 1) с начала движения первого автомобиля в очереди до достижения потока рекомендуемой скорости ($V = 40$ км/ч);
- 2) с момента достижения рекомендуемой скорости до проезда последнего автомобиля в очереди ($\lambda = \mu(\tau)$);
- 3) с момента проезда очереди до конца зеленого сигнала светофора.

Таким образом, функцию $f(\tau)$ можно описать формулой

$$f = \begin{cases} \frac{a\tau}{2(l_o + l_a)}, \tau \in \left[0; \tau^* = \frac{V}{a} \right], \\ \frac{\frac{V^2}{2a(l_o + l_a)} + \frac{V(\tau - \tau^*)}{l_o + l_a}}{\tau}, \tau \in \left(\tau^*; \tau^{**} = \frac{V^2}{2a(V - \lambda(l_o + l_a))} \right], \\ \frac{\frac{V^2}{2a(l_o + l_a)} + \frac{V(\tau^{**} - \tau^*)}{l_o + l_a} + \lambda(\tau - \tau^{**})}{\tau}, \tau \in (\tau^{**}; T], \end{cases} \quad (2)$$

где l_o – расстояние между автомобилями, м; l_a – средняя длина автомобилей, наиболее часто встречающихся в потоке, м; $a = 1,8$ – ускорение, м/с².

Смоделируем очередь на проблемном участке перекрестка города Ижевска: поворот с ул. Пушкинской на ул. Холмогорова в сторону ул. 50 Лет ВЛКСМ. Входящий поток автомобилей с ул. Пушкинской в сторону ул. 50 Лет ВЛКСМ составляет примерно 400 авт./ч, время работы светофора по данному направлению 15 секунд (13 секунд горит зеленый цвет и 2 секунды желтый), продолжительность полного цикла на перекрестке составляет 75 секунд.

На рис. 2 представлен график зависимости длины очереди из автомобилей от продолжительности зеленого сигнала светофора.

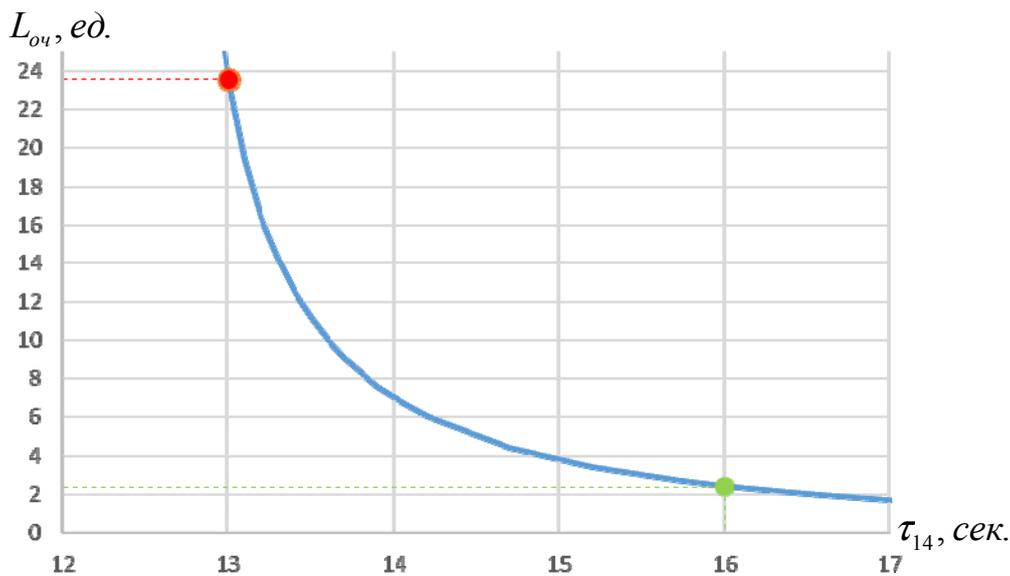


Рис. 2. Зависимость длины очереди от времени работы зеленого сигнала светофора

Из рис. 2 видно, что на данном перекрестке в направлении с ул. Пушкинской в сторону ул. 50 Лет ВЛКСМ образуется очередь в среднем в 22–24 автомобиля. В действительности в час пик (17:00–18:00) на данном перекрестке есть очередь из транспортных средств в 23 автомобиля. При этом из рис. 2 видно, что если время работы зеленого сигнала светофора увеличить до 16 секунд, то средняя длина очереди автомобилей на данном перекрестке сократится до 2–4 автомобилей за цикл.

Для поиска оптимальных параметров работы городской системы светофоров в качестве целевой функции оптимизационной математической модели рассмотрим средневзвешенное время нахождения автомобиля в очереди [1]:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{m_i} T_{ij}^{\text{оч}} \cdot \lambda_{ij}}{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{m_i} \lambda_{ij}} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где m_i – количество зеленых сигналов на i -м перекрестке; $T_{ij}^{\text{оч}}$ – среднее время в очереди на i -м перекрестке в j -м направлении.

Используя данные подходы, смоделируем участок дорожной сети города Ижевска: ул. Пушкинской, начиная с ул. Холмогорова до ул. Майской, как один из наиболее проблемных участков городской сети.

Для моделирования работы системы светофоров использовалась система имитационного моделирования Anylogic [2]. Результаты имитационного моделирования показали образование затора на данном участке дорожной сети, что соответствует собранным исходным данным и подтверждает существование затора. Среднее время нахождения автомобиля в сети составило примерно 10 минут.

Проведя оптимизацию целевой функции, удалось снизить среднее время нахождения транспорта в сети в 4 раза. Результат представлен на рис. 3, в.

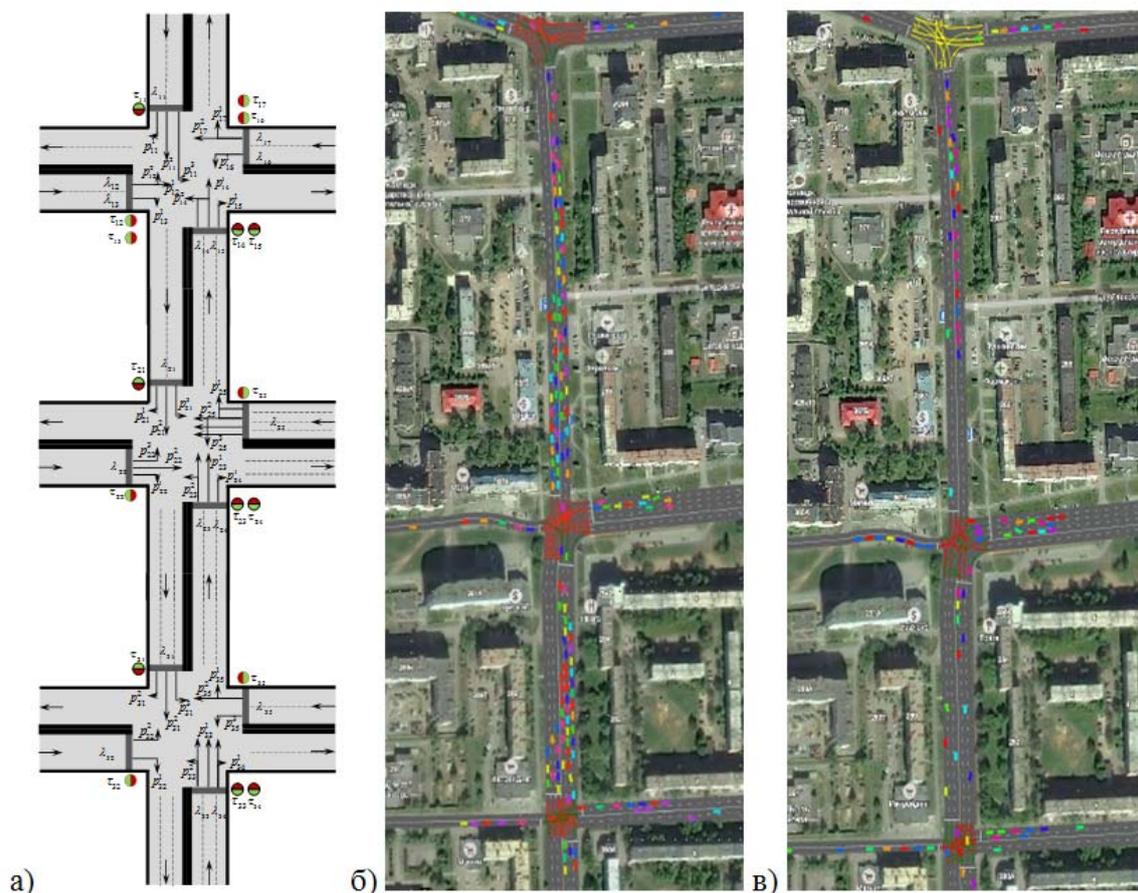


Рис. 3. Результат имитационного моделирования через 60 минут с начала расчета до оптимизации (б); после оптимизации (в)

На основе применения методов теории массового обслуживания и оптимизации проведена надстройка фаз светофоров на рассматриваемом участке транспортной сети города Ижевска, в результате которой уменьшилось среднее время нахождения автомобиля в очереди.

Список литературы

1. *Loginova J., Kasatkina E.* Simulation of the traffic flow in conditions of traffic signal regulation. В сборнике: International Conference on Computer Technology and Science Scientific public organization “Professional science”. Boston, USA, 2017. – С. 30-37.
2. *Шаймарданов, М. Г.* Опыт применения системы Anylogic при моделировании движения транспортных потоков / М. Г. Шаймарданов, Е. В. Касаткина // Математические модели и информационные технологии в организации производства. – 2016. – № 2. – С. 66–69.

Р. М. Касимов, магистрант

А. О. Пономарева, студентка

Е. В. Касаткина, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры «МОИС», kasatkina@istu.ru

Е. А. Сабурова, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры «МОИС», saburovaea@inbox.ru

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Модель роста социально-экономической системы региона с учетом демографической динамики

Проект посвящен разработке модели роста социально-экономической системы региона с учетом демографической динамики. В качестве факторов производства рассматриваются основные фонды региона, численность населения и социальный капитал. Социальный капитал является более широким понятием человеческого капитала. Носителями социального капитала являются демографические элементы. Поэтому расчет учета величины социального капитала необходимо проводить с учетом демографической структуры населения.

Ключевые слова: социальный капитал, математическое моделирование, демография, региональная экономика.

Постановка задачи моделирования роста региональной социально-экономической системы

В рассматриваемой ниже математической модели развития экономической системы основными показателями являются: объем произведенной продукции Y , стоимости основных производственных фондов K , социального капитала S , объемы инвестиций в производственный капитал I и социальный капитал J , объем потребления C и доходы регионального бюджета D . Также

N^F, N^R – налоги, собираемые на территории региона, поступающие в федеральный и региональный бюджеты соответственно ($N = N^F + N^R$); $\rho^F + \rho^R = 1$, где $N^R = \rho^R \nu Y$. Тогда доход региона можно представить как $D = N^R + T = (1 + \nu) \rho^R \nu Y$.

Математическая модель экономической системы с учетом демографической динамики на основе общей схемы взаимодействия региональной экономики региона, представленной в работе [1] имеет вид

$$E = Y + T - N^F - R = I + J + C - B, \quad (1)$$

$$s_0 + s_k + s_s - s_b = 1, \quad (2)$$

$$Y = F(K, S) = AK^\alpha S^\beta, \quad (3)$$

$$C = s_0 E, \quad I = s_k E, \quad J = s_s E, \quad B = s_b E, \quad T = \nu \rho^R \nu Y, \quad N^F = \rho^F \nu Y, \quad (4)$$

$$E = \omega F(K, S), \quad \omega = 1 + \nu \rho^F \left[\nu (\rho^R / \rho^F) - 1 \right], \quad D = (1 + \nu) \rho^R \nu Y, \quad (5)$$

$$\dot{K}(t) = s_k E(t) - \eta K(t), \quad K_0 = K(t_0), \quad K_T = K(t_T); \quad (6)$$

$$\dot{S}(t) = s_h \bar{\varepsilon} E(t) - \chi S(t), \quad S_0 = S(t_0), \quad S_T = S(t_T), \quad (7)$$

где N^F, N^R – налоги федерального и регионального бюджетов соответственно ($N = N^F + N^R$); $\rho^F = N^F / N$, $\rho^R = N^R / N$; ν – доля объема налогов от выпуска реализованной продукции Y .

Уравнение (1) является основным балансовым уравнением модели. Уравнение (2) – балансовое уравнение в относительных переменных. Уравнение (3) – производственная функция вида Кобба – Дугласа. Взаимодействие региона с внешней экономической средой определяется с помощью коэффициента ω (5).

Суммарная величина социального капитала населения, участвующего в общественном производстве, определится из выражения

$$S(t) = \int_0^t \sum_{i=1}^4 \alpha_i s_i(t, \tau) \varepsilon(t, \tau) \rho(t, \tau) d\tau, \quad (8)$$

где $\varepsilon = \varepsilon(t, \tau)$ – доля населения возраста τ , участвующая в общественном производстве в год t ; $\rho(t, \tau)$ – плотность населения возраста τ в год t ; $s_i = s_i(t, \tau)$ измеряется в денежных единицах, где индекс $i = 1$ соответствует образовательной составляющей, $i = 2$ – составляющей здоровья, $i = 3$ – культурной составляющей и $i = 4$ – социальной составляющей социального капитала.

Для описания эволюции составляющих социального капитала $s_i = s_i(t, \tau)$ воспользуемся уравнением

$$\frac{\partial s_i(t, \tau)}{\partial t} + \frac{\partial s_i(t, \tau)}{\partial \tau} = -\nu_i s_i(t, \tau) + g_i(t, \tau), \quad (9)$$

где $g_i = g_i(t, \tau)$ – удельные расходы бюджета в i -ю составляющую социального капитала; ν_i – коэффициент выбытия i -й составляющей социального капитала.

Кривая $g_i = g_i(t, \tau)$ распределения удельных составляющих расходов государства, направленных на приращение социального капитала, определится из выражения

$$g_i(t, \tau) = \sum_{N_i} \frac{B_{N_i}(t, \tau)}{\int_{\tau_{1N_i}}^{\tau_{2N_i}} \rho(t, \tau) d\tau}, \quad (10)$$

где $B_{N_i}(t, \tau)$ – суммы, расходуемые в бюджете на рассматриваемые статьи N_i ;

$$B_{N_i}(t, \tau) = \begin{cases} B_{N_i}(t), \tau \in [\tau_{1N_i}, \tau_{2N_i}], \\ 0, \tau \notin [\tau_{1N_i}, \tau_{2N_i}], \end{cases} \quad (11)$$

$\rho(t, \tau)$ – плотность распределения населения возраста τ в год t , которое находится из решения задачи моделирования демографической динамики [2].

Результаты решения задачи моделирования роста социально-экономической системы региона с учетом демографической динамики

Оценка величины социального капитала основана на решении задачи моделирования демографической динамики и задачи моделирования качественных составляющих социального капитала. Для реализации рассмотренных моделей был разработан программно-вычислительный комплекс, включающий

базу данных социально-экономических показателей Удмуртской Республики (УР) и численное решение уравнений с помощью явно-неявной схемы с односторонними разностями.

На рис. 1 представлено прогнозирование общей и экономически активной численности населения до 2021 года, найденное как решение задачи демографической динамики на основе статистических данных демографической структуры УР за период 1990–2016 гг. [3].

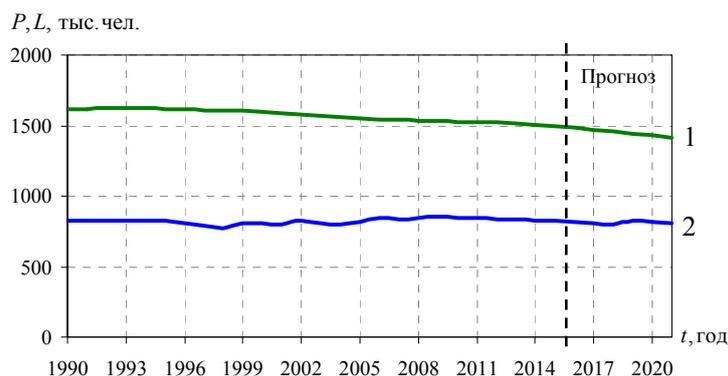


Рис. 1. Динамика демографических характеристик УР:

1 – общая численность населения; 2 – численность экономически активного населения

Расходные статьи бюджетов федерального и регионального уровней, направленные на развитие социального капитала УР (в ценах 2016 года), представлены на рис. 2.

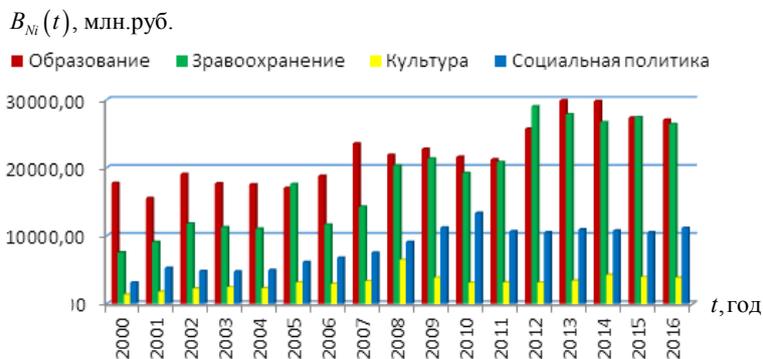


Рис. 2. Расходные статьи федерального и регионального бюджетов, направленные на развитие социального капитала УР, за период 2000–2016 гг. (в ценах 2016 г.)

Решение моделирования качественной составляющей социального капитала для Удмуртской Республики представлено на рис. 3.



Рис. 3. Динамика социального капитала УР за период 2000–2016 гг. (в ценах 2016 г.)

Для идентификации параметров модели социально-экономической системы региона применялся генетический алгоритм, который показал хорошие результаты при решении различных оптимизационных задач [4]. Результаты решения задачи идентификации приведены в таблице. Максимальная погрешность моделирования не превышает 12 %.

Результаты идентификации

Параметр	A	α	β	η	$\bar{\epsilon}$	χ	ν	ν	s_0	s_k	s_k	ω
Значение	0,634	0,216	0,754	0,0811	0,750	0,009	0,423	0,171	0,213	0,481	0,338	0,350

Как показывают расчеты, общая динамика социального капитала с учетом демографической динамики имеет тенденцию роста. Сохранение данной тенденции к 2021 году приведет к росту экономических показателей региона.

Данная социально-экономическая модель может использоваться для оптимального управления денежными вложениями в расходные статьи бюджета, такие как образование, здравоохранение, культура и социальная политика.

Список литературы

1. *Кетова, К. В.* Решение задачи оптимального управления региональной экономической системой в условиях научно-технического и социально-образовательного прогресса / К. В. Кетова, И. Г. Русяк, Е. А. Дерендяева // Математическое моделирование. – 2013. – № 10 (25). – С. 65–79.
2. *Кетова, К. В.* Решение задачи оптимального управления региональной экономической системой / К. В. Кетова, Е. А. Дерендяева // Вестник Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова. – 2012. – № 2(54). – С. 162–165.
3. Информационный сайт Госкомстата России : официальный сайт федеральной службы государственной статистики Российской Федерации. – URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 01.01.2014).
4. *Кетова К. В.* Прогнозирование показателей социально-экономического развития региона / К. В. Кетова, Е. В. Касаткина, Д. Д. Насридинова // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2013. – № 4 (28). – С. 104–120.

М. М. Килина, студентка, e-mail: kilina97@mail.ru

В. С. Шутов, ассистент

Р. З. Касимов, ст. преподаватель

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Разработка мобильного приложения для ведения учета и оплаты коммунальных услуг

В данной статье представлена концепция разработки мобильного приложения для ведения учета и оплаты коммунальных услуг. Целью создания данного приложения является автоматизация системы оплаты коммунальных услуг и тем самым улучшение качества жизни потребителей. В статье представлены принципы работы предлагаемого мобильного приложения и алгоритм его разработки для операционных систем iOS и Android.

Ключевые слова: мобильное приложение, показания счетчиков, коммунальные услуги.

Мы живем в век бурного развития современных информационных технологий. Смартфоны и планшеты оснащаются все более модернизированными программами и приложениями с огромным функционалом для автоматизации различных аспектов нашей жизни. Сфера ЖКХ является неотъемлемой частью жизни каждого, поэтому для улучшения условий работы с коммунальными предприятиями авторы предлагают мобильное приложение для ведения учета и оплаты коммунальных услуг.

В процессе работы было изучено: как подаются показания счетчиков; как формируются квитанции на коммунальные услуги и их оплата; рынок существ-

вующих решений. На основании полученных данных сформирован алгоритм работы мобильного приложения, которое удовлетворяло бы как потребителей, так и коммунальные организации. Авторы предлагают реализовать это программно-аппаратным комплексом, который включает в себя три основных модуля [1]: backend-приложение; клиент-приложения для iOS и Android; прибор фиксации показаний приборов учета.

В качестве платформы разработки сервера выбран язык Go. Go – это компилируемый многопоточный язык программирования, разработанный внутри компании Google. В разработке серверного приложения будет применяться модульная архитектура (рис. 1): 1 – интерфейс для взаимодействия с клиентом, основанный на REST парадигме с форматом данных JSON; 2 – модуль, инкапсулирующий бизнес логику: обработка поданных показаний счетчиков, формирование платежных поручений, взаимодействие с базой данных; 3 – адаптер с CRM-системой управляющей компании. Предполагается разрабатывать его отдельно для каждого коммунального предприятия.

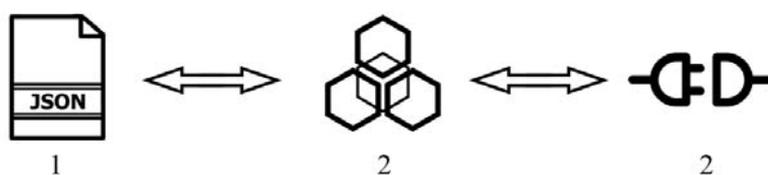


Рис. 1. Схема взаимодействия модулей backend-приложения

Клиентское приложение для iOS разрабатывается на языке Swift [2] и будет работать на устройствах с операционной системой iOS 10 и выше. Для Android-клиентов, с версией 5.0 и выше, разработка ведется на языке Kotlin Native [3].

Особое внимание следует уделить функции «Подача показаний», так как в случае подачи показаний по фотографиям приборов учета дополнительно необходимо разрабатывать модуль распознавания цифр, в случае же подачи с помощью электронного прибора учета – модуль фиксации на платформе Arduino с возможностью интеграции с любым счетчиком, обладающим циферблатом.

Предполагается, что программно-аппаратный комплекс будет работать по следующему сценарию (рис. 2):

- 1) модуль фиксации считывает показание счетчика;
- 2) мобильное приложение «расшифровывает» полученные значения и предлагает пользователю передать их коммунальному предприятию;
- 3) на сервере предприятия происходит формирование платежного поручения, и данные передаются обратно в приложение пользователю;
- 4) пользователь производит оплату.

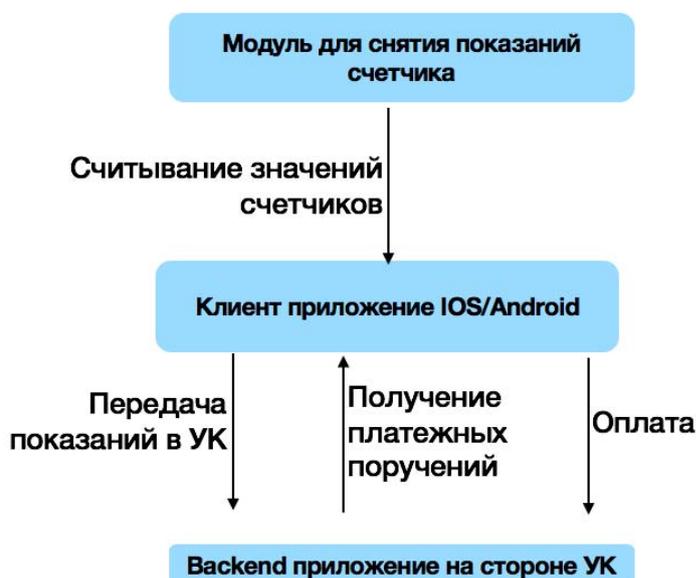


Рис. 2. Схема работы программно-аппаратного комплекса

Использование данного продукта в рабочем процессе коммунального предприятия позволит повысить качество жизни населения, сократит ежемесячные расходы, а также позволит полностью автоматизировать процесс оплаты услуг ЖКХ.

Список литературы

1. Аксенов, К. В. Обзор современных средств для разработки мобильных приложений // Новые информационные технологии в автоматизированных системах: материалы семнадцатого научно-практического семинара. – М. : ИПМ им. М. В. Келдыша, 2014. – 560 с.

2. *Великанова, Л. О.* Принципы разработки приложений под операционную систему IOS / Л. О. Великанова, А. Г. Мурлин, А. Р. Гайвук // Научный журнал КубГАУ. – 2017. – № 127 (03). – DOI: 10.21515/1990-4665-127-037.

3. *Ахметов А. К.* Операционная система Android: история создания и развития. Разработка приложений для платформы Android // Скиф. Вопросы студенческой науки. – 2017. – Вып. № 9. – С. 108–115.

О. Ю. Килина, студентка, oksanakilina23175@gmail.com

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»

Анализ применения метода деформирующего резания при оребрении теплообменных труб прямоугольного сечения

В данной статье представлены результаты анализа технологии формирования ребер на теплообменных трубах круглого и прямоугольного сечения. Предложено использование нового способа их производства с применением метода деформирующего резания. Выбрана и обоснована схема формообразования ребер для проведения дальнейших исследований по проекту с целью его реализации.

Ключевые слова: пластическая деформация, деформирующее резание, оребрение.

В настоящее время теплообменные трубы получают путем присоединения к трубе ребер сваркой, пайкой, развальцовкой или навивкой с натягом ленты, что обеспечивает отвод тепла от трубы. Такие трубы используют для охлаждения жидких рабочих сред различных машин и оборудования. Это оребрение необходимо для того, чтобы увеличить эффективную площадь теплоотдачи, через которую тепло будет отводиться в окружающую среду [1]. Теплообменные трубы, изготовленные приведенными выше методами оребрения, имеют значительные габариты, а следовательно, и более высокую массу изделия. Исходя из этого задача, связанная с разработкой более прогрессивной технологией производства труб с оребрением, является весьма актуальной.

Эту задачу можно решить с применением метода деформирующего резания при производстве теплообменных труб с оребрением наружной поверхно-

сти. Это дает нам преимущество по сравнению с традиционными конструкциями, заключающееся в снижении массы, так как ребра охлаждения формируются из материала самой трубы и в повышенной эффективности отвода тепла, так как отсутствует граница между ребром и трубой, а также снижается общая трудоемкость изготовления.

Однако применение метода деформирующего резания сдерживается тем, что для его использования необходимо применять специальный режущий инструмент и в некоторых случаях модернизировать существующее металлорежущее оборудование или создавать его вновь.

Поэтому целью данной работы является разработка принципиальной схемы формирования оребрения на теплообменных трубах прямоугольного сечения методом деформирующего резания.

Деформирующее резание – это процесс, основанный на одновременном резании и пластической деформации. Целью деформирующего резания является получение заданной формы, точности и качества рельефа, получаемого на поверхности детали в виде совокупности стружек, не отделившихся от заготовки [2]. Заготовки под оребрение применяют из более пластичных материалов, например из алюминия, меди и их сплавов, пластмасс. Это связано с тем, что при обработке материалов с ограниченной пластичностью подрезаемый слой не остается на заготовке, а отпадает от нее в виде стружки. Одним из преимуществ деформирующего резания является то, что при резании не требуется смазочно-охлаждающая жидкость.

При обработке деформирующим резанием используется режущий инструмент с особой формой заточки, в результате чего на поверхности заготовки образуется макрорельеф заданной формы. Одна режущая кромка разделяет материал на слои, а другая, деформирующая, отгибает подрезанный слой и придает ему форму. При этом слой материала заготовки остается соединенным с поверхностью заготовки, что приводит к значительному увеличению площади поверхности после обработки. В зависимости от угла заточки деформирующей кромки можно получать оребрение с разным углом наклона ребра [3].

При наружном оребрении теплообменных труб круглого сечения метод деформирующего резания может быть реализован несколькими кинематическими схемами: кольцевая (рис. 1) и винтовая (рис. 2).

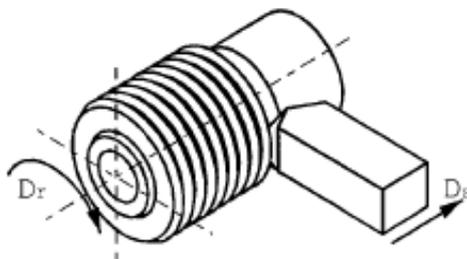


Рис. 1. Кольцевая схема формирования оребрения

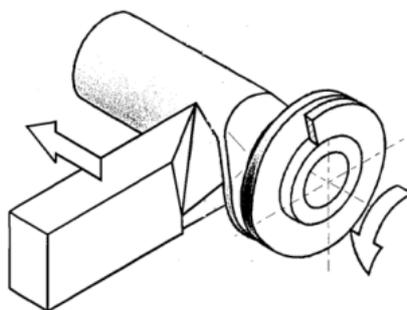


Рис. 2. Винтовая схема формирования оребрения

Такие схемы оребрения могут быть реализованы как на существующих токарных станках, так и на специальной установке большой производительности. Недостатком такой схемы резания является то, что требуется режущий инструмент со специальной заточкой режущей кромки.

Для обработки плоских поверхностей методом деформирующего резания применяют поперечно- и продольно-строгальные, кромко-строгальные, строгально-долбежные и другие станки. Схемы формирования оребрения представлены на рис. 3 и 4.

Из анализа схем для формирования оребрения труб прямоугольного сечения выбираем схему с продольной схемой формирования ребер по следующим причинам:

1) более простая конструкция режущего инструмента, что снижает трудоемкость при его последующей переточке;

2) более производительная обработка по сравнению с поперечной схемой формирования ребер (примерно в 2 раза).

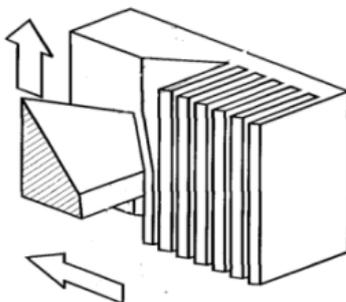


Рис. 3. Поперечная схема формирования оребрения

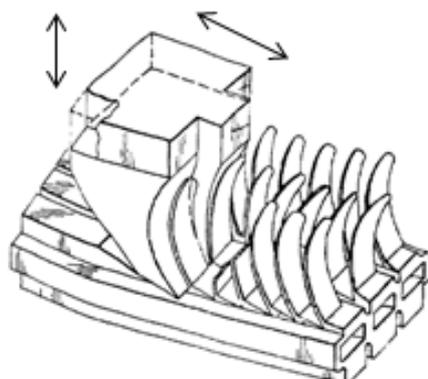


Рис. 4. Продольная схема формирования оребрения

Дальнейшее решение задачи заключается в выборе оборудования для реализации метода формирования ребер на теплообменниках с трубами прямоугольного сечения или проектировании специального оборудования и режущего инструмента.

Список литературы

1. Трошин, А. В. Способы оребрения труб. – М., 1988. – 200 с.
2. Зубков, Н. Н. Разработка и исследование метода деформирующего резания как способа формообразования развитых макрорельефов. – М., 2001. – 477 с.
3. Кононов, О. В. Инструмент деформирующего резания для чистовой обработки / О. В. Кононов, Я. И. Шаповалов, С. Ю. Шачнев. – М., 2013. – 57 с.

А. Г. Нестеров, магистрант, e-mail: loadalone@gmail.com

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Проект использования тепла подземной стоянки торгового центра

В связи с ограниченностью природных ресурсов в настоящее время планируется использовать теплоизбытки, вырабатываемые двигателями автомобилей на подземной автостоянке. Утилизация тепла будет происходить с помощью теплового насоса типа «вода-вода». Тепло, утилизированное от подземной стоянки автомобилей, может использоваться на подогрев приточного воздуха в системе вентиляции торговых центров.

Ключевые слова: тепловой насос, вентиляция, утилизация тепла, подземная стоянка.

В настоящее время достаточно актуальной задачей в мире представляется сбережение энергоресурсов. Колоссальное количество энергии расходуется на подогрев приточного воздуха в системах вентиляции торговых центров [1, 2]. Чтобы сэкономить ресурсы, а также уменьшить эксплуатационные затраты торгового центра, планируется подключить систему нагрева воздуха к тепловому насосу типа «вода-вода» [3, 4]. Для получения максимальной эффективности горизонтальный коллектор теплового насоса проложим над автомобильной стоянкой [5–7]. Предполагается, что теплоизбытки, выделяемые автомобилями, будут нагревать слой грунта, соответственно, будет увеличиваться эффективность теплового насоса.

Произведем расчет теплоступлений от одного автомобиля в режиме прогрева двигателя.

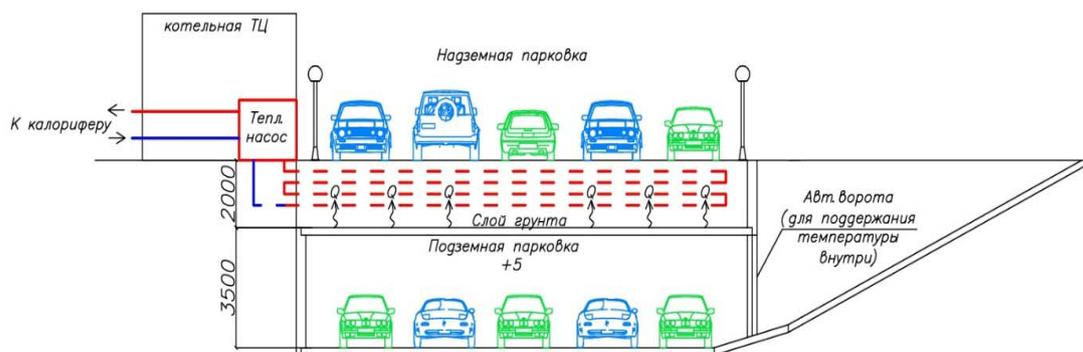


Рис. 1. Схема утилизации теплоты от подземной стоянки

Теплопоступления от процессов сгорания жидкого топлива, Вт, рассчитываются по формуле

$$Q = \frac{1}{3,6} B Q_p^H K_2 \eta, \quad (1)$$

где B – расход топлива, принимается $B = 1,08$ кг/ч для бензинового двигателя, работающего на холостом ходу в режиме прогрева; Q_p^H – теплотворная способность топлива, принимается $Q_p^H = 47300$ кДж/кг для бензина; K_2 – коэффициент, учитывающий долю тепла, поступающего в помещение, принимаем $K_2 = 0,5$ при отсутствии данных; η – коэффициент, учитывающий химическую и механическую неполноту сгорания топлива, принимаем $\eta = 0,95$.

Тогда $Q = \frac{1}{3,6} \cdot 1,08 \cdot 47300 \cdot 0,5 \cdot 0,95 = 6740$ Вт – для автомобиля, работающего в режиме прогрева двигателя.

Произведем расчет тепла, Вт, поступающего в помещение от выхлопных газов автомобиля:

$$Q_{\Gamma} = \frac{1}{3,6} c G_{\Gamma} (t_{\Gamma} - t_{p.z.}), \quad (2)$$

где c – удельная теплоемкость отработанных газов, принимается $c = 1,068$ кДж/(кг·°С) для отработанных газов с температурой 100 °С; G_{Γ} – количество выработанных газов, принимается $G_{\Gamma} = 16$ кг/ч (согласно источнику [8] на 1 кг сжигаемого топлива приходится 16 кг смеси выхлопных газов); t_{Γ} –

температура газов, принимается $t_{\Gamma} = 100$ °С; $t_{p.z}$ – температура рабочей зоны (температура внутреннего воздуха на парковке), принимается $t_{\Gamma} = 5$ °С.

Отсюда $Q_{\Gamma} = \frac{1}{3,6} \cdot 1,068 \cdot 16 \cdot (100 - 5) = 450$ Вт – для автомобиля, работающего в режиме прогрева двигателя.

Общие тепlopоступления от одного автомобиля, работающего в режиме прогрева двигателя $Q_{\text{общ}} = Q + Q_{\Gamma} = 6740 + 450 = 7190$ Вт.

Для расчета принимается торговый центр общей площадью 10000 м^2 и потолками высотой 5 м. Тепловой насос компенсирует только мощность, необходимую на нагрев приточного воздуха для торгового центра (т. е. отопление не учитывается). Подземная парковка рассчитана на 200 мест.

Расчет потребной мощности на нагрев приточного воздуха.

Расход воздуха $L = 2 \cdot 10000 \cdot 5 = 100000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Мощность калорифера: $Q_{\text{к}} = 100000 \cdot 1,2 \cdot 0,278 \cdot (20 - (-33)) = 1768080$ Вт = 1768 кВт = 1,77 МВт.

Расчет горизонтального коллектора с учетом тепловыделений подземной парковки.

Условно принимаем, что при идеальных условиях все тепловыделения автомобильной парковки отбираются трубами горизонтального коллектора автомобильной парковки. В таком случае производится перерасчет мощности, необходимой для нагрева воздуха.

Тепловыделения от 200 автомобилей на подземной парковке $Q_{\text{а}} = 7190 \cdot 200 = 1438000$ Вт = 1438 кВт. Мощность, необходимая на нагрев воздуха $Q_{\text{к}} = 1768080 - 1438000 = 330080$ Вт = 330 кВт. Расход антифриза

$V_{\text{с}} = \frac{330 \cdot 3,6}{1,05 \cdot 3,7 \cdot 3} = 101,93 \text{ м}^3/\text{ч}$. Суммарная длина труб $L = \frac{330080}{20} = 16504 \text{ м}$.

Площадь участка $A = 16504 \cdot 0,5 = 8252 \text{ м}^2$.

Дальнейший ход исследования связан с расчетом процессов, протекающих в элементах теплового насоса. Проект утилизации теплоты от подземной стоянки автомобилей представляется достаточно эффективным и актуальным в настоящее время.

Список литературы

1. *Нестеров, А. Г.* Морфологический анализ систем вентиляции торговых центров // сборник статей Международной научно-практической конференции «Теоретические и практические аспекты развития научной мысли в современном мире»: в 2 ч. (Самара, 08 октября 2017 г.). – Уфа : Аэтерна, 2017. – Ч. 1. – С. 58–60.
2. *Пушкарев, А. Э.* Аналитический расчет роторного регенеративного теплообменника / А. Э. Пушкарев, И. А. Пушкарев // Интеллектуальные системы в производстве. – 2016. – № 1. – С. 86–89.
3. *Пушкарева Т. А.* Морфологический анализ способов теплоснабжения жилого дома // Наука. Технологии. Инновации : материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых : в 11 ч. – Новосибирск: НГТУ, 2014. – Ч. 5. – С. 42–44.
4. *Пушкарев, И. А.* Комплексное использование ветрогенератора и теплового насоса в системе теплоснабжения зданий / И. А. Пушкарев, А. Э. Пушкарев // Составляющие научно-технического прогресса : сб. матер. 9-й Междунар. науч.-практ. конф. (30 апреля 2013 г., Тамбов). – Тамбов : ТМБпринт, 2013. – С. 46–48.
5. *Пушкарев, И. А.* Структурная и функциональная модели теплового насоса // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты: сб. матер. IV Междунар. конф. (12 апреля 2013 г., Новосибирск). – Новосибирск : ООО «Агентство «Сибпринт», 2013. – С. 186–191.
6. *Pushkarev I. A.* Functional and structural model of a heat supply of buildings with use of nonconventional power sources // Forth Forum of Young Researches. In the framework of International Forum “Education Quality – 2014” : Proceeding (April 21–23, 2014, Izhevsk, Russia). – Izhevsk : Publishing House of Kalashnikov ISTU, 2014. – Pp. 225–227.
7. *Пушкарева Т. А.* Функционально-структурный и морфологический анализ механических систем преобразования энергии от возобновляемых источников // Энергоресурсосбережение в промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве и агропромышленном комплексе [Электрон. ресурс]: электрон. науч. изд.: матер. регион. науч.-практ. семинара (Ижевск, 26.02–26.03.2016 г.) / ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова». – Ижевск : ИННОВА, 2016. – С. 18–23.
8. Выхлопные газы [Электронный ресурс] // Википедия – Свободная энциклопедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Выхлопные_газы – свободный (дата обращения: 12.04.2018).

А. В. Носачева, студентка, e-mail: anastasia.n.2018@mail.ru

О. М. Санду, канд. техн. наук, доц.

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Дизайн тактильной панели «Лес»

В статье рассмотрены особенности проектирования тактильной панели, предназначенной слепым и слабовидящим детям. На основе анализа аналогов были выявлены недостатки существующих панелей и предложены рекомендации к проектированию. Разработанная тактильная панель «Лес» предназначена для детей дошкольного возраста. Панель в игровой форме знакомит их с окружающим миром, а также обучает тактильным навыкам, развивает визуальное восприятие, тренирует мелкую моторику. Ребенок учится отличать на ощупь различные материалы и предметы, а также понимать логику простых игровых механизмов и интерактивного взаимодействия.

Ключевые слова: слепые и слабовидящие дети, тактильное восприятие, дизайн, тактильная панель.

В настоящее время не только для нашей страны, но и для стран всего мира характерным является увеличение количества детей, имеющих различные отклонения в развитии. Нарушенное зрение занимает в этом перечне одно из центральных мест. Особое внимание следует уделить категории слабовидящих детей. К категории слабовидящих относятся дети с остротой зрения на лучше видящем глазу от 0,05 до 0,2 % [1]. Таким детям с нарушенным зрением свойственны как снижение темпа и качества приема и переработки информации, так и ограниченность и неполнота формирования образов и понятий. В процессе формирования у таких детей образа предмета или явления следует задейство-

вать как можно больше источников информации разных модальностей. Этими модальностями могут быть осязание, обоняние, слух, вкус. В познании окружающего мира осязание играет особую роль. Посредством осязания ребенок получает основную информацию о форме, величине, движении, структуре и поверхности предметов. Ученый И. М. Сеченов писал в своей работе: «Рука, ощупывающая внешние предметы, дает слепому все, что дает нам глаз, за исключением окрашенности предметов и чувствования вдаль, за пределы длины руки» [2]. Следовательно, чтобы помочь слепым детям в развитии, необходимо разработать игру, которая может научить их получать знания об окружающем мире тактильным способом.

Для простоты восприятия все элементы воспринимаемых объектов должны соответствовать определенным тактильным параметрам. Для определения этих параметров была разработана методика исследования параметров тактильного восприятия незрячих [3]. В качестве параметров тактильного восприятия форм предлагается использовать признаки формы: шаг, размер, геометрию, ориентацию, цвет, объемность [4]. Ранее при помощи таких параметров были спроектированы орнаменты [5]. Результаты исследования показали, что минимальные значения, при которых можно ощутить расстояния между элементами, начинается от 0,5 мм. Элементы можно различить по высоте, начиная с 0,15 мм. Эти значения были использованы для проектирования панели.

Кроме минимальных размеров существуют правила проектирования оборудования для слепых детей: желательно выбирать яркие, насыщенные цвета; материал должен быть приятным на ощупь, разнообразным, твердым, прочным, чтобы он не травмировал ребенка; игрушки обязаны соответствовать определенным санитарно-гигиеническим нормам; форма предмета должна отображать реальные пропорции и основные признаки натурального предмета [6]. Руководствуясь этими правилами, можно разработать удобную панель для игр.

Рассмотрим существующие аналоги тактильных панелей. Тактильная панель «Текстуры» [7] служит для развития тактильных ощущений, мелкой моторики детей. Вторая панель – тактильно-акустическая – сочетает в себе зритель-

ную и звуковую функции [8]. Третья панель разработана коллективом студентов направления «Дизайн» (Е. Куликова, А. Носачева, руководитель О. М. Санду) (рисунок). Образ для панели выполнен в стиле дизайнера Патрика Груби. Полученная панель одновременно информационно содержательная, имеет игровой сюжет. При создании панели (рис. 1) были использованы локальные цвета: желтый, красный, синий. Для слабовидящих людей ярко-желтый цвет – последний цвет спектра, который они могут видеть. Размер данной панели составляет 500 × 500 мм, размер выбран с учетом эргономических параметров, чтобы малыш мог комфортно изучить данную панель, не передвигаясь. Панель выполнена из фанеры, материал сосна толщиной 12 мм. Съёмные элементы животных и птиц крепятся на липы. Они позволяют изучить в руках форму данных объектов и запомнить их. Все размеры элементов панели подобраны с учетом минимальных параметров формы, воспринимаемых слепыми детьми.



Тактильная панель «Природа леса»

Толщина желтой полосы у радуги составляет 0,15 мм, оранжевой 0,2 мм, красной 0,3 мм, синей 0,4 мм. Такое разграничение поможет тактильно отделить радугу от фона. На границе, где расположена земля, прикреплены камни разных размеров, они тактильно отделяют границу неба от земли. Толщина холма 0,6 мм, толщина деревьев составляет 0,5 мм. На животных и на птицах приклеены перья и искусственный мех. Все элементы окрашены краской фирмы «Tikkurila». Краска стойкая и экологически безопасная.

Список литературы

1. *Потемкина, А. В.* Рельефные книги для слепых: история и современность [Электронный ресурс]. – URL: http://teoria-ractica.ru/rus/files/arhiv_zhurnala/2014/4/pedagogika/potemkina.pdf (дата обращения: 10.04.2018).
2. *Сеченов, И. М.* Осязание, как чувство, соответствующее зрению. Избранные философские и психологические произведения. – М. : Огиз, 1947. [Электронный ресурс]. – URL: <https://moluch.ru/archive/22/2195> (дата обращения: 10.04.2018).
3. *Санду, О. М.* Методика исследования параметров тактильного восприятия рельефных поверхностей слепых и слабовидящих людей // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. – 2018. – № 2 (22). – С. 123–128 .
4. *Санду, О. М.* Классификация регулярного повтора // Вестник ИжГТУ. – 2007. – № 3. – С. 129–131.
5. *Санду, О. М.* Композиционные признаки в орнаментах // Дизайн. Материалы. Технология. – 2008. – № 2 (5). – С. 17–20.
6. Требования к игрушкам для слепых детей. [Электронный ресурс]. – URL: <https://nsportal.ru/detskiy-sad/materialy-dlya-roditeley/2017/05/19/trebovaniya-k-igrushkam-dlya-slepyh-detey> (дата обращения: 10.04.2018).
7. «Глобус» [Электронный ресурс]. – URL: <http://aconit.ru/sensornye-i-igrovye-komnaty/taktilnoe-oborudovanie/taktilno-razvivayushchaya-panel-tekstury/> (дата обращения: 10.04.2018).
8. REAMED [Электронный ресурс]. – URL:http://reamed.org/catalog/product/akusticheskayataktilnaya-panel/?sphrase_id=84781 (дата обращения: 10.04.2018).

И. Л. Охильков, аспирант, e-mail: virland.ru@gmail.com

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Определение зависимости температуры и теплового потока в точке от общих теплопотерь теплотрассы

В статье рассматриваются особенности проведения аудита теплотрасс городских сетей теплоснабжения. Проводится исследование влияния конструкции теплотрассы и состояния теплоизоляции на тепловой поток, окружающий теплотрассу. Определяется зависимость значения теплового потока и температуры от тепловых потерь теплотрассы. Выводы основываются на исследовании математической модели теплотрассы средствами пакета ANSYS и проведении масштабного макетирования.

Ключевые слова: изоляция, теплообмен, тепловое поле, тепловой поток, математическое моделирование.

Большинство тепловых сетей на территории РФ созданы еще в эпоху СССР и с тех пор подвергались лишь незначительному ремонту. Иными словами, состояние большинства таких конструкций оставляет желать лучшего, вследствие чего аудит таких сетей становится приоритетной задачей теплоснабжающих организаций [1].

Рис. 1 иллюстрирует современную тепловую сеть населенного пункта. Как видно из рисунка, сеть представляет собой сложный комплекс [2], включающий в себя здания и сооружения, насосное оборудование с трубопроводами, арматурой, системы автоматики с контрольно-измерительными приборами,

систему оперативно-диспетчерского и ремонтного обслуживания, системы проектирования монтажа и приемки в эксплуатацию и т. д.

- 1 – магистральные тепловые сети,
- 2 – квартальные тепловые сети,
- 3 – центральный тепловой пункт,
- 4 – индивидуальный тепловой пункт,
- 5 – насосная подстанция,
- 6 – районный диспетчерский пункт,
- 7 – теплоэлектроцентраль,
- 8 – вентиль.

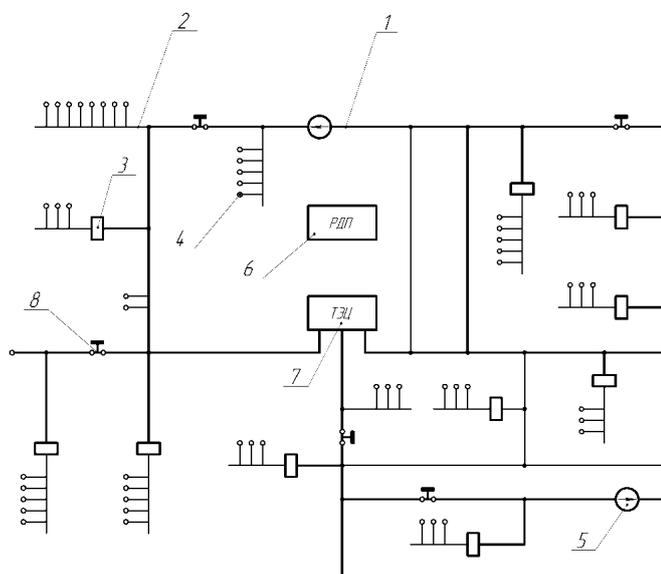


Рис. 1. Структура тепловой сети

В соответствии с методикой для определения фактических тепловых потерь на испытываемых участках двухтрубной водяной тепловой сети [3], предложенной Минпромэнерго, и сравнения их с нормативными значениями должно быть организовано циркуляционное кольцо, состоящее из прямого и обратного трубопроводов с переключкой между ними. Все ответвления и отдельные абоненты должны быть от него отсоединены, а расход на всех участках сети должен быть одинаков.

С учетом практической невозможности проведения испытаний по этой методике для решения задачи определения фактических тепловых потерь промышленность предлагает методы энергоаудита, позволяющие проводить исследование сетей непосредственно на работающем теплопроводе. Среди них наибольшее распространение получили методы наземного тепловизионного обследования и метод тепловой аэросъемка в ИК-диапазоне.

На данный момент кафедра «Вычислительная техника» ИжГТУ оснащена достаточно широким спектром оборудования, предназначенного для точного

контроля электрических величин, а также замера температур: прибор «Теркон», имеющий государственную поверку средства измерения позволяет измерять напряжение, сопротивление проводника, а также имеет встроенные калиброванные цепи измерения термосопротивления и термопар всех типов. Помимо этого имеется набор датчиков поверхностной плотности теплового потока ДТП 0924 ТУ МКСН.405229.001, датчиков температуры типа термопара и термосопротивление. В результате работы кафедры в последние годы получен богатый опыт термометрии и изучения теплофизики различных процессов и материалов, на основе которого был разработан высокоточный заглубляемый датчик плотности теплового потока и носимый прибор, предназначенный для работы с этим датчиком.

Основная идея метода состоит в том, что тепловой поток трубопровода напрямую зависит от температуры протекающей жидкости (которая может считаться известной), формы и геометрических размеров конструкции и, что немало важно, от качества изолирующих материалов. Таким образом, при ухудшении качества изоляции тепловой поток, свойственный исправной конструкции, будет неизбежно изменяться, что и позволит в результате применения предложенного метода проводить аудит теплотрассы.

Предлагаемая идея метода состоит в получении различных наборов профилей теплового потока на заданной глубине в грунте для различных форм теплотрасс. Далее предлагается полиномиальная аппроксимация профилей с последующим синтезом зависимостей по принципу 1 полином на 1 тип теплотрассы. Исходя из ранее выполненных исследований [4] достаточно производить погружение датчика на глубину 50 см для нивелирования суточных колебаний температуры грунта в осенне-весеннее время.

Таким образом, при наличии аналитической формулы вида $\Phi = f(x, t_1, t_2)$ (где x – координата в сечении, перпендикулярном направлении теплотрассы; t_1 и t_2 – температуры подающей и обратной трубы теплотрассы), описывающей данную модель теплотрассы, появляется возможность измерения теплового потока в нескольких точках в грунте, подстановка данных точек в полином, ин-

тегрирование полученной зависимости и получение тепловых потерь, выраженных в виде Вт/м.

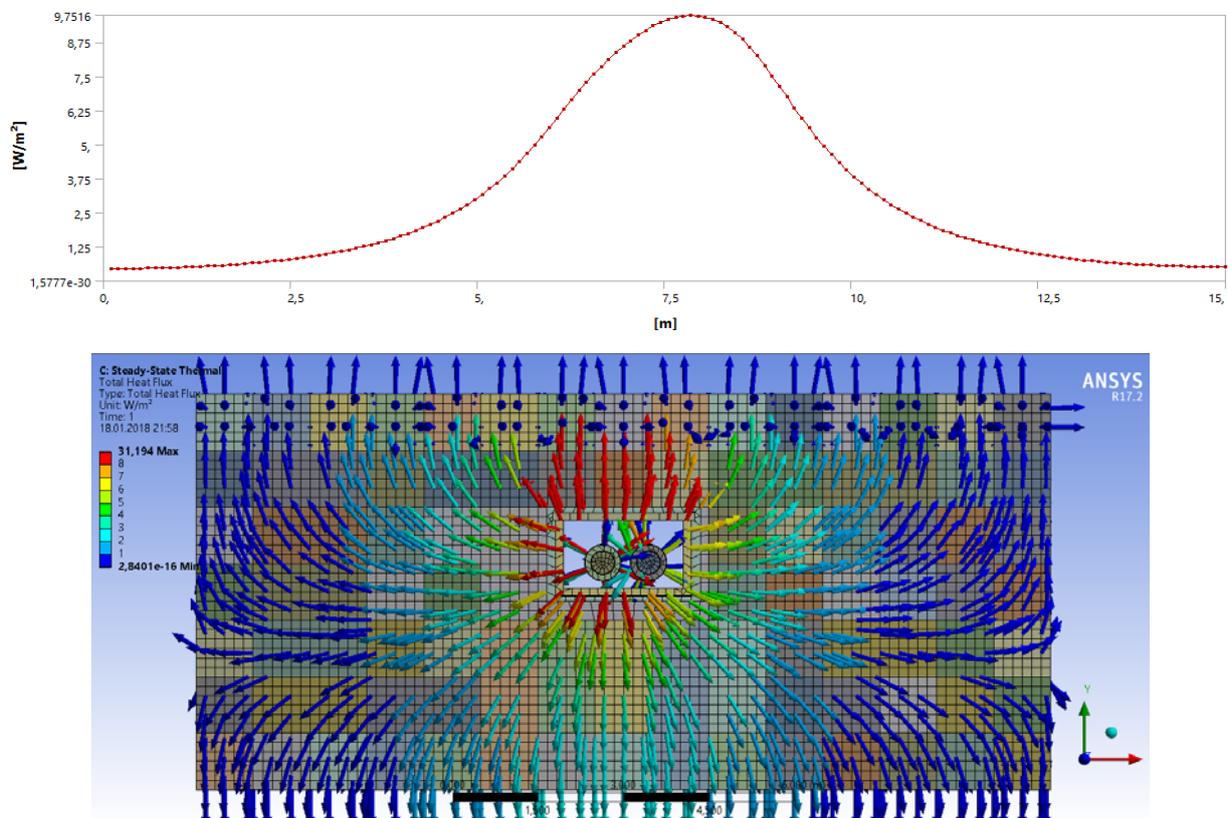


Рис. 2. Тепловой поток в грунте и значение теплового потока на глубине 50 см в грунте

На рис. 2 представлен тепловой поток в грунте и расчет его значений на глубине 50 см от поверхности в направлении, параллельном поверхности. Как видно, наблюдается колоколообразная форма потока, обусловленная потерями теплотрассы в атмосферу. Можно отметить, что большая часть теплового потока, направленного вглубь грунта, производит «разворот» по дугообразной траектории, что позволяет утверждать, что анализ теплового потока над теплотрассой позволяет достоверно судить о суммарных потерях теплотрассы в грунт.

Так, например, интегрирование графика для представленного случая дает величину теплопотерь равную 47,9 Вт. Для сравнения – величина потерь, оцененная при помощи пакета ANSYS, равняется 51,7 Вт.

Однако приведенные данные лишь иллюстрируют принцип, не давая точных значений, ввиду того, что форма потока сильно зависит от коэффициента теплоотдачи труб в окружающую среду [5]. Именно с целью определения указанного коэффициента проводилось макетирование процесса. Цель исследования – получить коэффициенты теплоотдачи для дальнейшего использования в модели ANSYS для синтеза аналитических выражений для различных форм и конфигурация теплотрасс.

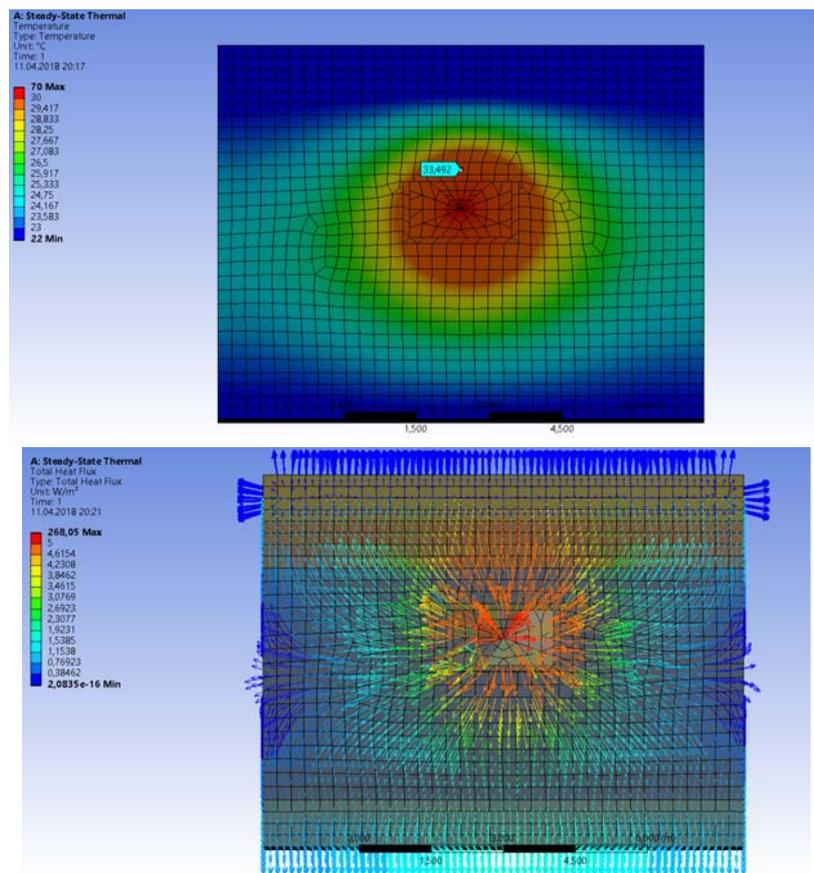


Рис. 3. Расчет теплового потока и температуры в грунте по данным, снятым с макета

После выхода установки на режим был произведен замер температур и тепловых потоков в ряде точек. В результате измерений были рассчитаны коэффициенты теплоотдачи в точках измерения путем подсчета эквивалентного теплового сопротивления от источника тепла к точке измерения [6]. Затем коэффициенты были записаны в тепловую модель ANSYS, и проведен повторный расчет распределения температур и тепловых потоков. Критерием достоверности

эксперимента послужило соответствие температуры, измеряемой в точке над теплотрассой в процессе выхода системы на режим с температурой, полученной в процессе расчета.

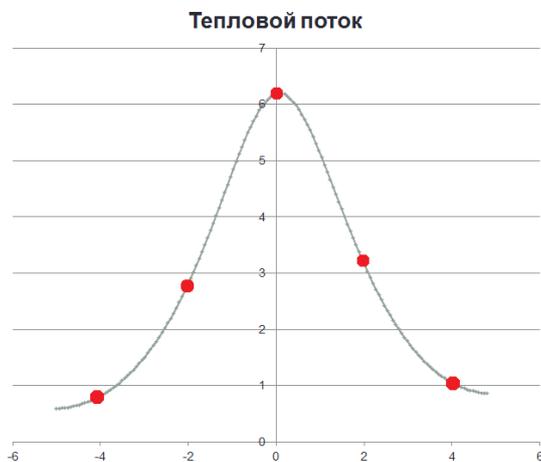


Рис. 4. Значение теплового потока на глубине 50 см от поверхности в направлении, параллельном поверхности

Впоследствии на данной модели был произведен расчет теплового потока на глубине 50 см от поверхности в направлении, перпендикулярном теплотрассе по результатам измерения теплового потока в точках, указанных на рис. 4. Данные измерений были подвергнуты кусочно-сплайновой интерполяции средствами математического пакета Matlab.

В результате анализа полученного распределения теплового потока можно сказать, что:

1. Тепловой поток имеет колоколообразную форму с максимумом, смещенным в сторону подающей (более горячей трубы).

2. Тепловой поток на расстоянии более 4 метров влево и вправо от теплотрассы резко снижается, что свидетельствует о сокращении влияния теплотрассы на форму теплового потока.

3. Значение пика теплового потока равно $6,2 \text{ Вт/м}^2$, что примерно соответствует значениям, полученным ранее во время предварительных расчетов (диапазон $7,44\text{--}9,4 \text{ Вт/м}^2$).

4. При этом интегральное значение теплового потока равно 21,4 Вт. Общие затраты мощности макета состоят из двух нагревателей по 70 Вт в интервальном режиме с коэффициентом заполнения порядка 20 % и равняются примерно 28 Вт. Таким образом, если допустить небольшие теплотери через уплотнения (3–4 Вт) в макете, значение тепловых потерь, полученных согласно предложенному методу, достаточно достоверно оценивает потери теплотрассы в грунт.

Список литературы

1. *Охильков, И. Л.* Определение зависимости температуры и теплового потока в точке от общих теплотерь теплотрассы / И. Л. Охильков, В. А. Куликов // Вестник ИжГТУ имени М. Т.Калашникова. – 2017. – Т. 20, № 3.
2. URL: <http://www.rosteplo.ru> (дата обращения: 11.03.16).
3. СНиП 3.05.03-85. Тепловые сети.
4. *Никитин, К. А.* Экспериментальные исследования информационно-измерительной системы для измерения теплопроводности грунта / В. А. Куликов, В. В. Сяктерева, К. А. Никитин // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1 (17).
5. *Исаченко, В. П.* Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомал. – М. : Энергия, 1975.
6. *Бухмиров, В. В.* Определение коэффициента теплопередачи через гладкую и оребренную трубы: методические указания к выполнению лабораторной работы / В. В. Бухмиров, Д. В. Ракутина, под ред. Т. Е. Созиновой. – Иваново, 2010.

И. В. Плотников, магистрант, e-mail: qrehukc003@yandex.ru
ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»

Функциональная модель камер орошения

В настоящее время в системах вентиляции и кондиционирования общественных и промышленных зданий расходуется большое количество энергоресурсов, направленных на создание тепловлажностного баланса в помещениях. Функциональная модель камер орошения позволит обосновать наиболее рациональную конструкцию камеры орошения и наметить пути повышения энергоэффективности.

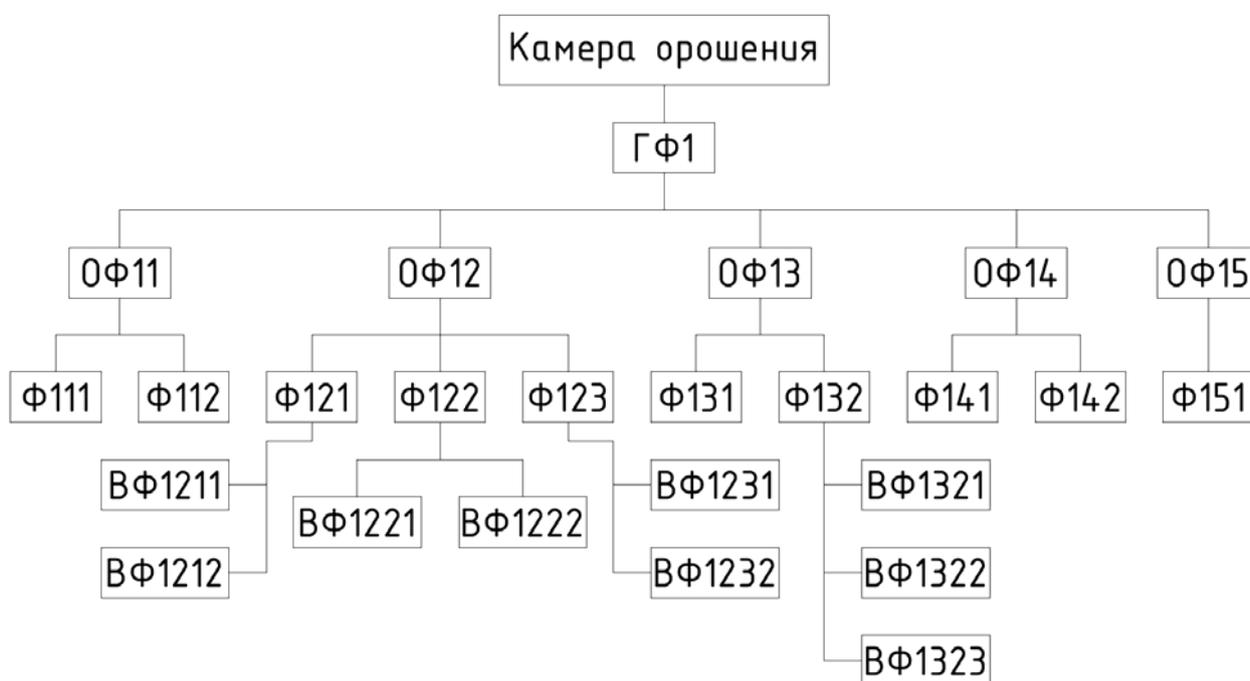
Ключевые слова: энергоэффективность, теплообмен, вентиляция, камера орошения, форсунка, пар.

Приоритетным направлением развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, является проектирование новых или реконструкция старых объектов с использованием энергосберегающих технологий [1, п. 8]. Таким образом, создание энергоэффективных систем вентиляции и кондиционирования является актуальной задачей. Одной из наиболее важных и энергозатратных элементов этих систем являются камеры орошения [2].

Выбор наиболее рациональной конструкции камеры орошения удобно вести, рассмотрев функциональные связи внутри устройства [3, 4]. Необходимо разделить присущие изделию функции на внешние и внутренние. Внешние будут определять функции камеры орошения в целом и отражать функциональные отношения между аппаратом для тепловлажностной обработки воздуха и внешней средой [5, 6]. Внутренние функции отражают особенности конструкторско-технологических решений разных типов камер орошения.

Главная функция любых типов камер орошения – осуществление процессов тепломассообмена. Однако процессы увлажнения или осушения воздуха, его нагрева или охлаждения достигаются различными методами, в зависимости от типа камер орошения. Для анализа и выбора энергоэффективного исполнения камеры орошения была составлена функциональная модель, представленная на рисунке. Состав функций приведен в таблице.

Главная функция (ГФ) определяет назначение и целесообразность существования камеры орошения в целом. Основные функции (ОФ) составляют второй уровень функциональной модели и характеризуют последовательность преобразований, происходящих в структуре камеры орошения. Функции (Ф) представляют собой дифференциацию основных функций и располагаются на третьем уровне иерархии. Вспомогательные функции (ВФ) находятся на завершающем четвертом уровне, не имеют связей с энергетическими преобразованиями, а лишь создают условия для их реализации.



Функциональная модель камеры орошения

Состав функций камер орошения (КО)

Уровень модели	Индекс функции	Наименование функции
1	ГФ1	Осуществление процессов тепломассообмена
2	ОФ11	Прием воздушного потока из приточного контура
	ОФ12	Процесс увлажнения или осушения воздуха
	ОФ13	Процесс охлаждения холодоносителя
	ОФ14	Отвод стоков
	ОФ15	Подача воздушного потока в приточную сеть
3	Ф111	Распределение вертикального потока воздуха по объёму КО
	Ф112	Распределение горизонтального потока воздуха по объёму КО
	Ф121	Распыление воды
	Ф122	Подача пара в коллектор
	Ф123	Затуманивание воздушного пространства камеры увлажнения
	Ф131	Циркуляция холодоносителя
	Ф132	Регулирование частоты вращения ротора
	Ф141	Качественное и количественное регулирование холодоносителя вторичного контура
	Ф142	Контроль уровня перелива в поддоне
	Ф151	Сепарация капель жидкости в потоке приточного воздуха
4	ВФ1211	Подача воды на впускной патрубок
	ВФ1212	Крутка потока жидкости
	ВФ1221	Парообразование жидкости с поверхности электродов
	ВФ1222	Отвод жидкости, полученной при конденсации пара
	ВФ1231	Понижение напряжения и повышение частоты переменного тока
	ВФ1232	Генерация высокочастотных механических колебаний
	ВФ1321	Измерение перепада давлений
	ВФ1322	Измерение расхода жидкости
	ВФ1323	Измерение перепада температур

Разработанная функциональная модель камеры орошения позволяет:

- составить полное представление о последовательности взаимодействия отдельно взятых элементов камеры орошения;
- определить функции, необходимые для работоспособности камеры орошения и выявить лишние, от которых можно отказаться;
- обосновать наиболее сбалансированную конструкцию камеры орошения;
- наметить пути повышения энергоэффективности камер орошения [7].

Действительные свойства проявляются через динамические связи, взаимодействия которых происходят в процессе функционирования отдельных конструкций теплообменных аппаратов. Для определения функциональности, полезности материальных элементов, оценки качества исполнения функций, требуется построение совмещенной функционально-структурной модели, что является следующим этапом исследования.

Список литературы

1. Указ Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации».

2. *Плотников, И. В.* Морфологический анализ водяных камер орошения // сборник статей Международной научно-практической конференции «Наука в современном обществе: закономерности и тенденции развития» (Оренбург, 10 ноября 2017 г.). – Уфа : Аэтерна, 2017. – Ч. 4. – С. 70–73.

3. *Морозов, Д. А.* Функционально-структурная модель ветроэнергетических установок / Д. А. Морозов, А. Э. Пушкарев // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2008. – № 1. – С. 34–38.

4. *Пушкарева, Л. А.* Функциональная модель отбора олимпиадных задач // Наука. Технологии. Инновации : матер. Всерос. науч. конф. молодых ученых (4–7 декабря 2008 г., Новосибирск). – В 7 ч. Ч. 6. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2008. – С. 10–11.

5. *Пушкарев, И. А.* Функционально-структурная модель теплоснабжения зданий при использовании теплового насоса // Наука. Технологии. Инновации : материалы

Всероссийской научной конференции молодых ученых. – Новосибирск : НГТУ, 2014. – Ч. 5. – С. 45–47.

6. *Pushkarev, I. A.* Functional and structural model of a heat supply of buildings with use of nonconventional power sources // Forth Forum of Young Researches. In the framework of International Forum “Education Quality – 2014” : Proceeding (April 21–23, 2014, Izhevsk, Russia). – Izhevsk : Publishing House of Kalashnikov ISTU, 2014. – pp. 225–227.

7. *Гринберг, В. Н.* Расширение функциональных возможностей складных поверхностей летательных аппаратов / В. Н. Гринберг, А. Э. Пушкарев // XXII науч.-метод. конф. ИжГТУ: тез. докл. / отв. за выпуск Б. А. Якимович. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 1999. – С. 16–18.

С. А. Погудин, аспирант, e-mail: u3jjiom@bk.ru

Н.С. Сивцев, д-р техн. наук, проф.

А. Г. Бажин, ст. преподаватель

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Фрезерование мало жестких деталей с применением вспомогательных опорных модулей

Рассматривается проблема обеспечения требуемой точности мало жестких деталей, подвергаемых при механической обработке значительной упругой деформации от сил резания. Выполнен анализ способов управления этими деформациями. Приведены результаты экспериментальных исследований точности обработки мало жестких деталей фрезерованием при оказании им дополнительной поддержки путем установки вспомогательных опорных модулей в местах наименьшей жесткости. Предложены конструктивные варианты исполнения таких модулей.

Ключевые слова: точность, мало жесткие детали, фрезерование, упругие перемещения, опорный модуль.

Важным фактором развития машиностроения является увеличение номенклатуры мало жестких деталей сложного профиля из высокопрочного материала, используемых в областях ответственного назначения: оборонной промышленности, горнорудной промышленности, в ракето-, станко-, авиа-, судо-, приборостроении и других [1]. Изготовление такого рода деталей вызывает трудности, что обусловлено сложностью их геометрической формы, а также наличием тонкостенных элементов разной толщины. Последние при механической обработке подвержены значительной упругой деформации от сил резания, что приводит к неравномерности снимаемого припуска и снижению точности

деталей. Проблема усугубляется при формообразовании поверхностей резанием по методу касания, в частности, фрезерованием, когда воздействие сил резания на заготовку носит прерывистый характер.

В настоящее время механическая обработка маложестких деталей сложного профиля, как правило, производится на фрезерных станках с ЧПУ. В этих условиях задача минимизации упругих деформаций маложестких деталей при фрезеровании становится особо актуальной.

Результаты анализа научной и патентной литературы позволили выделить следующие основные направления решения этой задачи [2]:

1. Оптимизация геометрических параметров и материала режущего инструмента. Выбор правильной геометрии инструмента приводит к уменьшению сил резания, напряжений и температуры в теле заготовки, что, в свою очередь, приводит к уменьшению упругих деформаций. Использование при обработке маложестких деталей концевых фрез с неравномерным шагом зубьев, с постоянно изменяющимся углом наклона зуба, с волнообразной режущей кромкой снижает силы резания и нарушает строго периодический, циклический характер изменения действующих сил [3]. Постоянство условий резания позволяет сохранить выбор соответствующим условиям обработки марки инструментального материала.

2. Выбор оптимального режима и траектории фрезерования. Оптимизация траектории перемещения режущего инструмента позволяет сглаживать траекторию, уменьшать отклонения от направления сил резания.

3. Применение стратегии высокоскоростного (ВСФ) и сверхскоростного фрезерования (ССФ). Стратегия высокоскоростного и сверхскоростного фрезерования является высокоэффективным способом снижения температуры в зоне обработки и существенного снижения силы резания в зоне обработки. Наиболее полно принципы и возможности ВСФ и ССФ реализуются на 5 осевых фрезерных станках и многокоординатных токарно-фрезерных обрабатывающих центрах, оснащенных высокооборотными электрошпинде-

лями. Такие станки позволяют обработать деталь с разных сторон, под различными углами за один установ [4, 5].

4. Создание систем адаптивного управления точностью обработки. Активный контроль процесса резания позволяет осуществлять выбор режимов резания в соответствии с фактической обрабатываемостью материала и параметрами заготовки. Наиболее эффективный метод контроля процесса резания основан на измерении силы резания. На основе данных о силе резания система адаптивного управления производит расчет оптимального режима обработки – величины подачи и частоты вращения шпинделя [6, 7].

В перечисленных направлениях в основе минимизации упругих деформаций маложестких деталей лежат технологические приемы, направленные на снижение и уменьшение колебаний сил резания при их механической обработке.

Принципиально иной конструкторский прием основан на реализации схем установки маложестких деталей, при которых в ходе обработки им оказывается дополнительная поддержка путем установки вспомогательных опор, например люнета, винтового домкрата и пр. [8, 9]. Опоры не позволяют перемещаться тем точкам детали, которые они поддерживают. Тем самым вспомогательные опоры увеличивают жесткость детали, препятствуют ее деформациям и вибрациям при обработке.

Для маложестких деталей применение отмеченного приема наиболее эффективно в случае применения не отдельных опор, а вспомогательного опорного модуля – блока из нескольких опор, каждая из которых контактирует с деталью в разных точках поверхности, создавая в этих точках усилие реакции при оказании силового воздействия по ходу резания.

Ниже приведены результаты эксперимента по оценке точности обработки маложестких деталей фрезерованием при оказании им дополнительной поддержки путем применения вспомогательных опорных модулей.

Обработка заготовок проводилась по схеме попутного фрезерования (рис. 1) твердосплавной концевой фрезой (табл. 1) на вертикально-фрезерном станке модели X3K с системой управления SINUMERIK 802S.

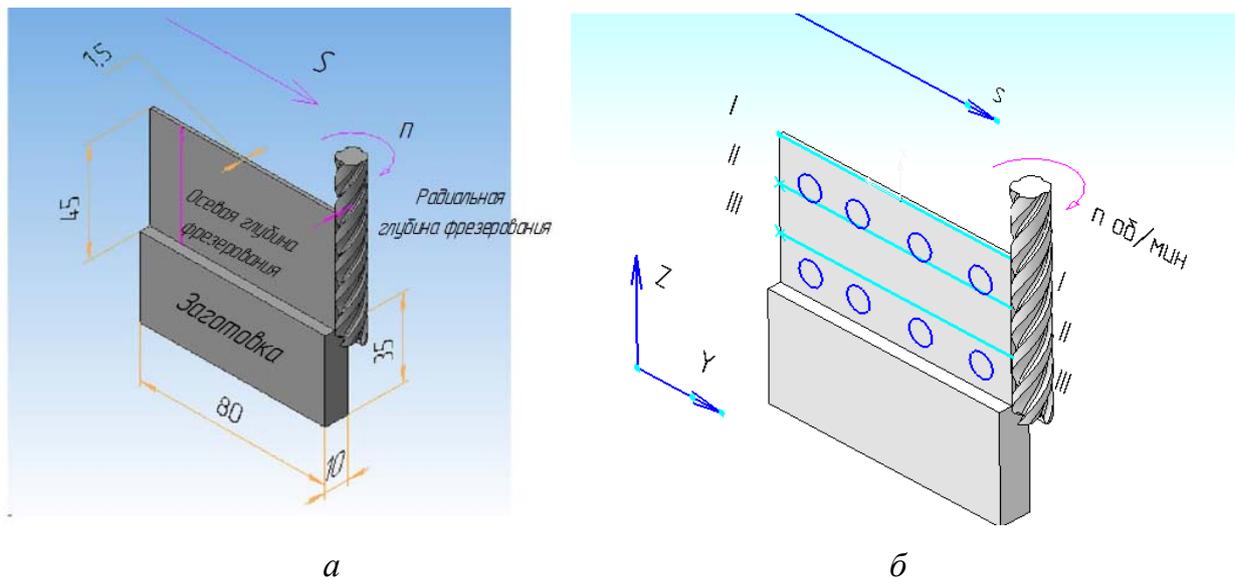


Рис. 1. Схема фрезерования экспериментальных образцов: а – геометрия и размеры заготовки; б – точки измерения суммарного отклонения формы и расположения поверхности

Таблица 1. Параметры режущего инструмента

Материал инструмента	Твердый сплав
Диаметр инструмента (мм)	10
Длина режущей части (мм)	50
Угол наклона винтовой линии (град.)	37
Передний угол режущего инструмента (град.)	12
Задний угол режущего инструмента (град.)	15
Количество зубьев	4

В качестве экспериментальных образцов использованы заготовки из алюминиевого сплава Д16Т (табл. 2).

Таблица 2. Механические свойства алюминиевого сплава Д16Т

Плотность	Предел прочности (при растяжении/ разрыв)	Модуль (нормальной упругости) Юнга	Коэффициент Пуассона
2710 кг/м ³	105 МПа	85 ГПа	0,33

Базирование и закрепление заготовок производилось в тисках без дополнительных опор и с применением вспомогательного опорного модуля, выполненного в виде сварного уголка с отверстиями под болты М8, которые использовались в качестве вспомогательных регулируемых опор (рис. 2). В ходе фрезерования происходил съем припуска пошагово на каждом проходе 0,5 мм (табл. 3) до достижения конечной толщины 1,5 мм.

Измерение обработанной поверхности проводилось в трех наиболее показательных сечениях по горизонтали (рис. 1, б) с помощью координатно-измерительной машины *CimCore infinite 2.0*.

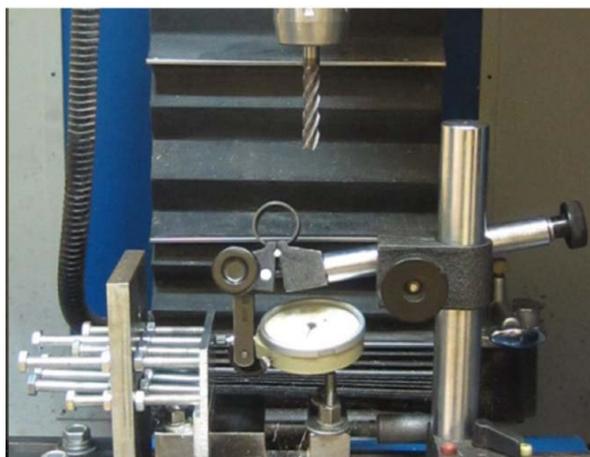


Рис. 2. Экспериментальная установка

Таблица 3. Режим обработки

Условия резания	Без СОЖ
Частота вращения шпинделя (об/мин)	1500
Подача на зуб (мм/зуб)	0,05
Радиальная глубина резания (мм)	0,5
Осевая глубина резания (мм)	45
Способ фрезерования	Попутное фрезерование

Анализ результатов измерения показал значительное уменьшение отклонения формы и расположения поверхностей деталей, обработанных с применением вспомогательного опорного модуля (рис. 3, 4),

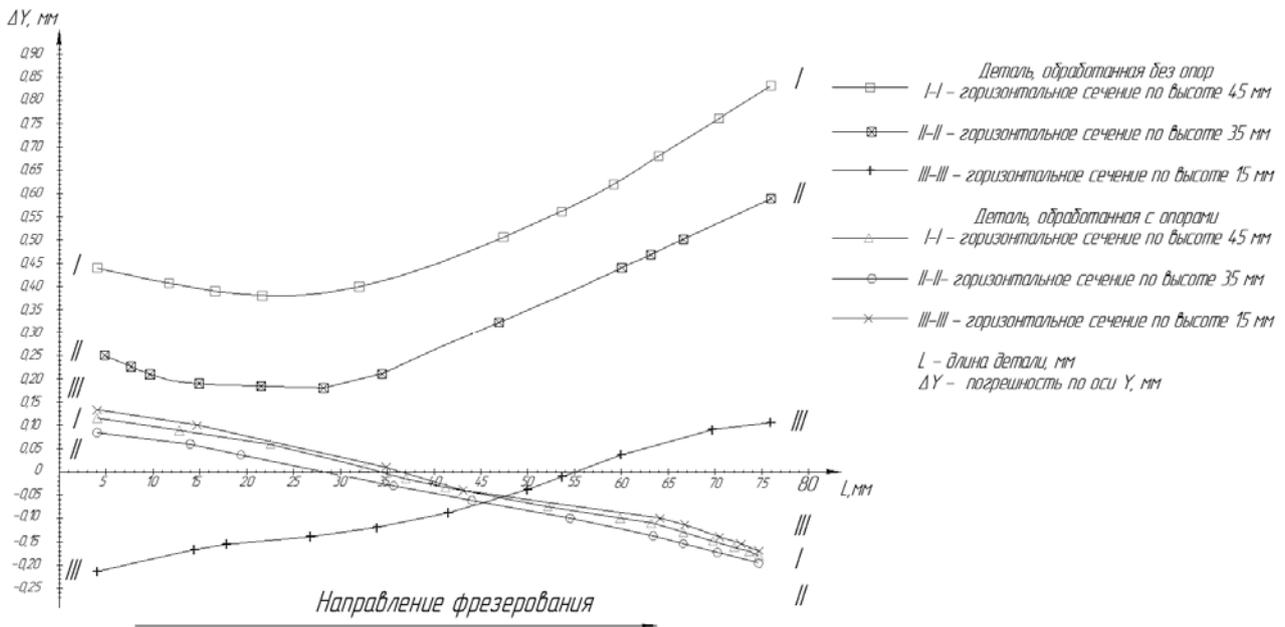
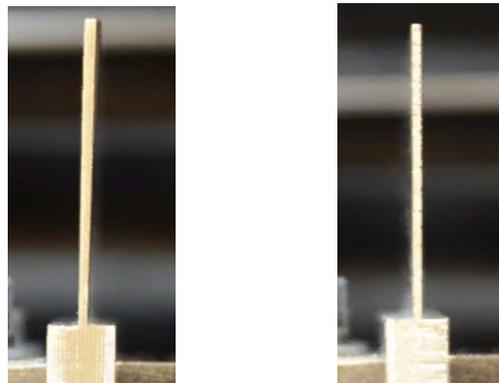


Рис. 3. Отклонение формы поверхности обработанной детали в сечениях I-I, II-II, III-III



а

б

Рис. 4. Поперечный профиль обработанной детали:
а – без опор; б – с применением вспомогательного опорного модуля

Для применения вспомогательных опорных модулей при обработке маложестких деталей преимущественно сложного профиля предлагается использование в модулях самоустанавливающихся опор с различными механизмами их фиксации после контакта с заготовкой (рис. 5).

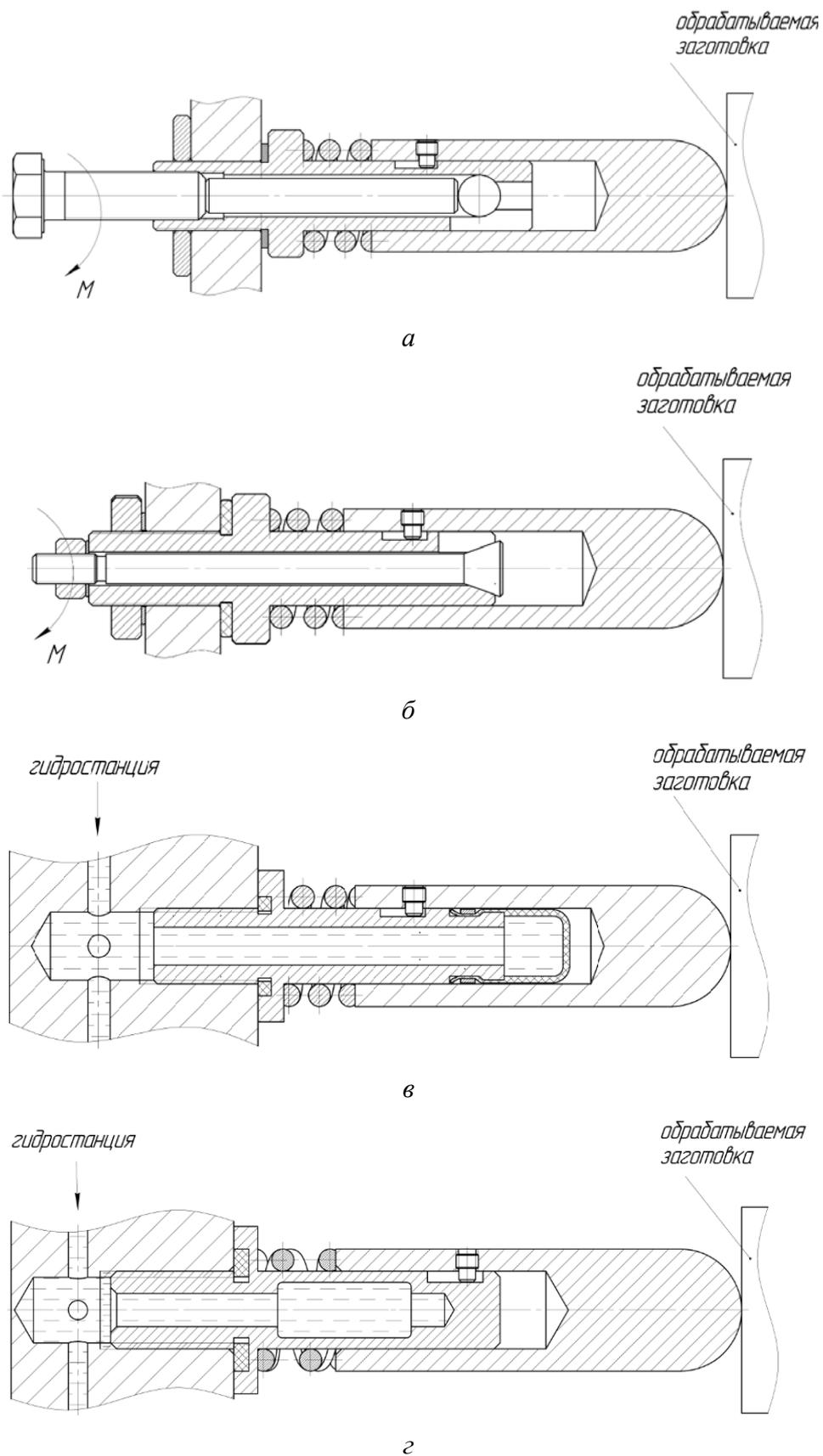


Рис. 5. Варианты конструкции самоустанавливающихся опорных элементов вспомогательного опорного модуля: *a, б* – с разжимной цангой; *в, г* – с деформируемым тонкостенным элементом

Список литературы

1. Учебное пособие по выполнению раздела дипломного проекта «Анализ и оценка технологичности конструкции деталей авиационной техники» / С. Н. Шевцов, С. Б. Родригес, В. В. Сабирский, В. Н. Аксенов ; под общ. ред. М. В. Флек. – Ростов н/Д., 2005. – 107 с.
2. *Погудин, С. А.* К вопросу повышения точности обработки маложестких деталей сложного профиля при фрезеровании // Инженерия поверхности и реновация изделий : матер. 17-й Междунар. науч.-техн. конф. (29 мая – 02 июня 2017 г., г. Одесса). – Киев : АТМ Украины, 2017. – С. 147–150.
3. *Никулин, Д. С.* Разработка концевых фрез для высокопроизводительной обработки авиационных деталей в условиях Иркутского авиационного завода / Д. С. Никулин, А. В. Савилов // Высокоэффективные технологии проектирования, конструкторско-технологической подготовки и изготовления самолетов : матер. Всерос. с междунар. участием науч.-практ. семинара (9–11 ноября 2011 г., г. Иркутск). – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2011. – С. 55–63.
4. *Оленин, Л. Д.* О некоторых особенностях фрезерования в режиме высокоскоростной обработки (ВСО) / Л. Д. Оленин, Д. И. Очкин // Известия МГТУ «МАМИ». – 2014. – Т. 2 № 3 (21). – С. 25–31.
5. *Корнеева, В. М.* Совершенствование обработки на основе сверхскоростного фрезерования / В. М. Корнеева, С. С. Корнеев // Вестник МГТУ «Станкин». – 2016. – № 1 (36). – С. 38–40.
6. *Кряжев, Ю. А.* Разработка алгоритма адаптивного управления процессом фрезерования на станках с ЧПУ с использованием сигнала акустической эмиссии / Ю. А. Кряжев, Е. Ю. Горин // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2017. – Т. 4. – № 3. – С. 32–38.
7. *Никитина, Л. Г.* Адаптивное управление станками // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2011. – № 3. – С. 61–65.
8. *Горошкин, А. К.* Приспособления для металлорежущих станков: Справочник. – 7-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1979. – 303 с.
9. Робот-станок с параллельной кинематикой // Альфа-интех. Будущее создается настоящим. – URL: <http://alphajet.ru/content/robot-stanok-s-parallelnoi-kinematikoi> (дата обращения: 01.10.2015).

И. А. Пушкарев, аспирант, e-mail: pia10no@mail.ru

Т. А. Пушкарева, магистрант

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Проектирование и расчет планетарных передач с повышенной нагрузочной способностью и плавностью работы

Рассматриваются перспективные конструкции планетарных передач: с повышенной податливостью элементов и прецессирующие. Они позволяют улучшить распределение нагрузки в зацеплениях колес, но требуют дополнительных исследований, связанных с возникновением динамических нагрузок и колебаний в элементах передачи. Получены формулы для определения динамических реакций и частот передачи.

Ключевые слова: планетарная передача, податливые элементы, прецессионная передача, динамика.

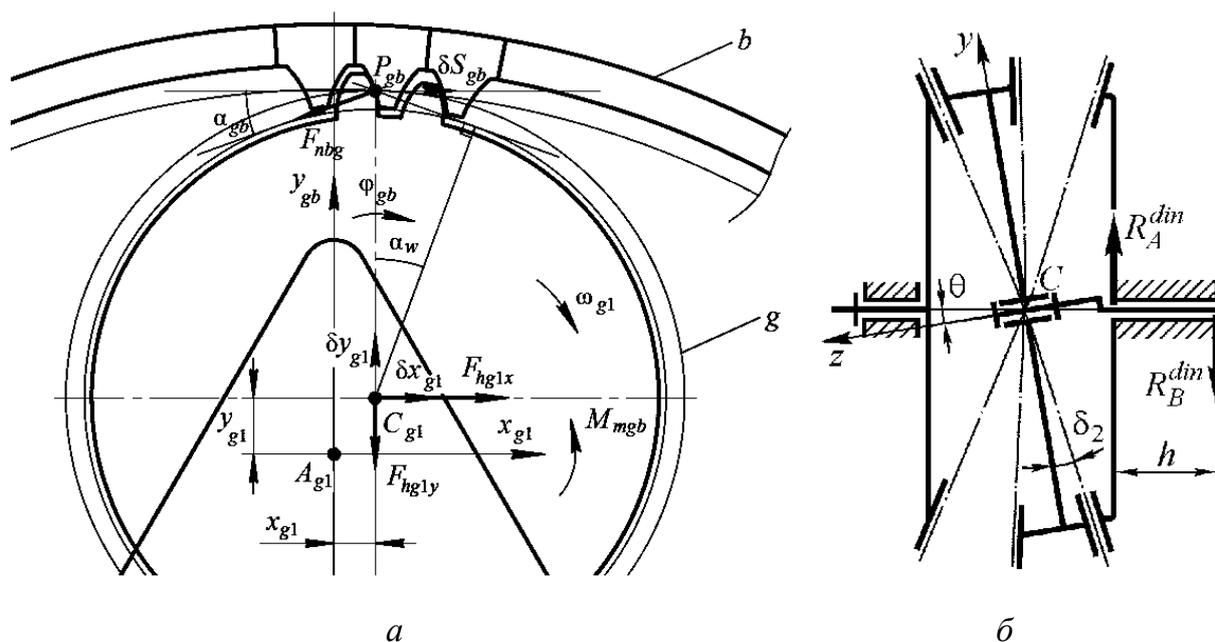
Планетарные передачи широко применяются вследствие высоких передаточных отношений, нагрузочной способности и компактности. В настоящее время разрабатываются новые конструкции планетарных передач [1–4]. В данной работе рассматриваются два направления: проектирование планетарных передач с повышенной податливостью элементов и проектирование прецессирующих планетарных передач [5]. И те, и другие конструкции позволяют улучшить распределение нагрузки в зацеплениях колес [6–8], но требуют дополнительных исследований, связанных с возникновением динамических нагрузок и колебаний в элементах передачи [9, 10]. Проблема актуализируется в случае высоконагруженных механизмов и высоких скоростей вращения.

Предлагается путем исследования динамики планетарных передач определить конструкцию и параметры планетарных передач с повышенной податливостью элементов и прецессирующих планетарных передач, имеющих повышенную нагрузочную способность, компактность и сниженную массу.

Математическая модель движения планетарного механизма с податливыми элементами (рисунок, *a*) составляется с помощью уравнений Лагранжа второго рода. С учетом податливости элементов передачи получается девять дифференциальных уравнений движения. Путем разделения движений и допущения постоянства угловой скорости водила получена формула для собственной частоты колебаний сателлита:

$$k^2 = \frac{0,3r_2^2 E}{k_2 \pi r_4^4 (0,5i - 1)^4} + \frac{0,45Er_2 i_{23}}{\pi r_4^3 i_{43}},$$

где r_2, r_4 – радиусы сателлита и солнечной шестерни; i, i_{23}, i_{43} – передаточные отношения механизма, между сателлитом и водилом, между солнечной шестерней и водилом; k_2 – коэффициент заполнения сателлита; E – модуль упругости; ρ – плотность.



Конструкции планетарных передач:

a – с податливыми элементами; *б* – прецессирующая планетарная передача

В прецессионных передачах (рисунок, б), вследствие угла между осью водила и осью симметрии сателлита θ , появляются динамические реакции [5, 10].

Из уравнений Эйлера находим проекции главного момента сил инерции M_C^{in} на оси $Cxyz$, жестко связанные с сателлитом:

$$M_{Cx}^{in} = -I_x \varepsilon_x + I_{xy} (\varepsilon_y - \omega_x \omega_z) + I_{xz} (\varepsilon_z + \omega_x \omega_y) - I_{yz} (\omega_z^2 - \omega_y^2) - (I_z - I_y) \omega_y \omega_z,$$

$$M_{Cy}^{in} = -I_y \varepsilon_y + I_{yz} (\varepsilon_z - \omega_x \omega_y) + I_{xy} (\varepsilon_x + \omega_y \omega_z) - I_{xz} (\omega_x^2 - \omega_z^2) - (I_x - I_z) \omega_x \omega_z,$$

$$M_{Cz}^{in} = -I_z \varepsilon_z + I_{xz} (\varepsilon_x - \omega_y \omega_z) + I_{yz} (\varepsilon_y + \omega_x \omega_z) - I_{xy} (\omega_y^2 - \omega_x^2) - (I_y - I_x) \omega_x \omega_y,$$

где $I_x, I_y, I_z, I_{xy}, I_{xz}, I_{yz}$ – осевые и центробежные моменты инерции сателлита относительно осей $Cxyz$; $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ и $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ – проекции абсолютных угловой скорости и углового ускорения сателлита на эти оси.

В случае установившегося движения и выбора в качестве осей $Cxyz$ главных осей инерции сателлита динамические реакции в прецессионной планетарной передаче [5]:

$$R_A^{din} = R_B^{din} = \frac{(I_z - I_y) \omega_H^2 \sin^2 \vartheta \operatorname{tg} \delta_2}{h}.$$

Таким образом, получены: формула для собственной частоты колебаний сателлита, которая зависит от свойств материала зубчатых колес, размеров солнечной шестерни и передаточных отношений механизма и между колесами; выражение динамических реакций в прецессионной планетарной передаче, которые определяются угловой скоростью водила, моментами инерции сателлита и расстоянием между опорами, углами между осями передачи.

Полученные выражения позволяют проводить параметрический анализ и синтез планетарных передач с повышенной нагрузочной способностью и плавностью работы.

Список литературы

1. Пат. 2492376 РФ. Планетарная передача / Ф. И. Плеханов. 04.06.2012.
2. Пат. 2460917 РФ. Планетарная передача / Ф. И. Плеханов, А. В. Овсянников. 07.12.2010.
3. Пат. 2402709 РФ. Планетарная передача / Ф. И. Плеханов, Н. Д. Веретенников, Н. А. Каркин, И. А. Казаков. 06.10.2009.
4. *Trubachev E., Savelyeva T., Pushkareva T.* Practice of design and production of worm gears with localized contact // *Mechanisms and Machine Science*. 2018. Vol. 51. Pp. 327-343.
5. *Пушкарев, И. А.* Динамические реакции в подшипниках прецессионной планетарной передачи / И. А. Пушкарев, Т. А. Пушкарева // Развитие науки и техники: механизм выбора и реализации приоритетов: сборник статей Международной научно-практической конференции (25 декабря 2017 г., г. Омск). – Уфа : АЭТЕРНА, 2017. – С. 67–70.
6. *Плеханов, Ф. И.* Исследование влияния параметров приближенного зацепления на распределение нагрузки по длине зубьев колес // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. – 2011. – № 1. – С. 11–13.
7. *Плеханов, Ф. И.* Влияние деформативности центральной шестерни и осей сателлитов планетарной передачи на распределение нагрузки в зубчатых зацеплениях // *Вестник машиностроения*. – 2015. – № 4. – С. 16–19.
8. Распределение нагрузки в зацеплениях колес рациональных конструкций планетарных передач и его влияние на технико-экономические показатели привода / Ф. И. Плеханов, Е. Ф. Вычужанина, И. А. Пушкарев, А. С. Сунцов // *Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова*. – 2017. – № 2. – С. 29–35.
9. *Plekhanov F., Pushkarev A., Pushkarev I.* Influence of layout features and parameters of planetary gear on its dynamics and strength characteristics // *Mechanisms and Machine Science*. 2018. Vol. 51. Pp. 481–494.
10. *Пушкарев, А. Э.* Динамический синтез ветроустановки, работающей в области малых скоростных потоков / А. Э. Пушкарев, Л. А. Пушкарева // *Современное машиностроение. Наука и образование*. – 2011. – № 1. – С. 343–347.

И. Г. Русяк, д-р техн. наук, проф., e-mail: primat@istu.ru

В. Г. Суфиянов, д-р техн. наук, доц., e-mail: vsufiy@mail.ru

С. А. Королев, канд. физ.-мат. наук, доц., e-mail: stjk@mail.ru

О. В. Дозоров, магистрант, e-mail: milok_15@mail.ru

И. А. Киселев, магистрант, e-mail: jack007911@gmail.com

И. А. Трушкин, бакалавр, e-mail: viciousde@gmail.com

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Визуальные технологии решения проектных баллистических задач

В статье представлены результаты разработки программного комплекса математического моделирования баллистических процессов проведения полигонных испытаний артиллерийских систем с использованием визуальных технологий. Рассмотрен вопрос дальнейшего развития программного комплекса для решения задач баллистического проектирования на основе отечественных систем автоматизированного проектирования, пакетов прикладных программ инженерного анализа и суперкомпьютерного моделирования.

Ключевые слова: баллистические процессы, математическое моделирование, программный комплекс, визуальные технологии.

Современные технологии математического моделирования и визуализации используются при проектировании и создании разнообразной номенклатуры изделий. Применение технологий визуального компьютерного моделирования в сочетании с адекватными математическими моделями дает возможность исследовать процесс выстрела, учитывая последовательность и природу явлений, протекающих в стволе, на траектории и при взаимодействии его с объек-

том поражения в режиме виртуальной реальности. На кафедре математического обеспечения информационных систем ИжГТУ имени М. Т. Калашникова под руководством академика РАН А. М. Липанова и профессора И. Г. Русяка были проведены исследования в области математического моделирования внутренней, внешней и конечной баллистики. Целью проведения исследования является повышение информативности и производительности научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ на стадии проектирования боеприпаса и артиллерийских систем.

На основе проведенных исследований был разработан программный комплекс математического моделирования баллистических процессов и визуализации полигонных испытаний артиллерийских систем. Результаты исследований отражены в монографии [1] и в докторской диссертации [2], в которой представлены основные научные публикации коллектива авторов. Результаты моделирования отдельных этапов баллистических процессов на виртуальной карте полигона представлены на рис. 1.

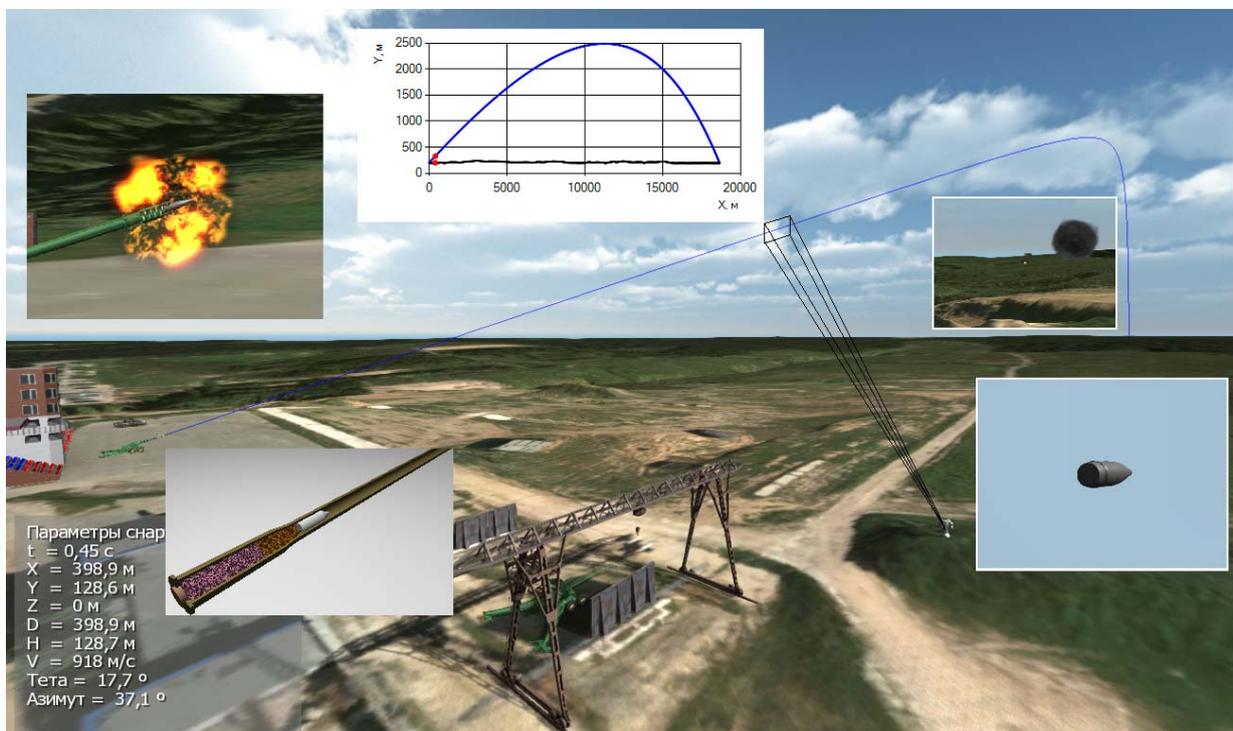


Рис. 1. Визуализация результатов моделирования внутренней, внешней и конечной баллистики на виртуальной карте полигона

Моделирование процессов внутренней баллистики осуществляется на основе теории движения многофазных гетерогенных реагирующих сред, тепломассообмена и напряженно-деформированного состояния пороховых элементов заряда при выстреле [3]. Решение сопряженной задачи гидромеханики и тепломассообмена позволяет учесть воспламенение и последующее горение пороховых элементов заряда. Результаты моделирования внутренней баллистики используются для расчета прочностных характеристик ствола артиллерийского орудия на основе решения дифференциальных уравнений напряженно-деформированного состояния с динамическими граничными условиями [4].

Моделирование процессов внешней баллистики осуществляется на основе решения дифференциальных уравнений движения твердого тела в атмосфере. Коэффициенты аэродинамических сил сопротивления и отклоняющих моментов, используемые при расчете траектории снарядов, определяются на основе решения задачи обтекания объектов сложной геометрической формы [5].

В рамках исследования процессов конечной баллистики рассматривались задачи бронепробития и осколочного действия. Моделирование бронепробития основывается на соотношениях, описывающих движение сжимаемой упругопластической среды, которые базируются на законах сохранения массы, импульса и энергии и замыкаются соотношениями Прандтля – Рейсса при условии текучести Мизеса [6]. Моделирование осколочного действия снаряда осуществляется на основе многократного расчета траектории движения осколков, определяемых из решения дифференциальных уравнений [7].

Результаты математического моделирования процессов, сопровождающих функционирование снаряда в канале ствола, на траектории и у цели отображаются в программном комплексе визуализации полигонных испытаний. Программный комплекс содержит виртуальную 3D-модель баллистической трассы, которая позволяет сопоставлять результаты натурных и вычислительных экспериментов с учетом реального рельефа местности и полигонной инфраструктуры, а также решать задачу оптимальной расстановки и настройки измерительно-регистрающей аппаратуры для отслеживания траектории

движения снаряда на всей баллистической трассе и повысить полноту регистрации параметров.

Дальнейшее развитие программного комплекса связано с интеграцией с отечественной системой автоматизированного проектирования КОМПАС-3D (компания АСКОН) [8] и пакета программ ЛОГОС (РФЯЦ-ВНИИЭФ) [9]. САПР КОМПАС-3D предназначен для проектирования трехмерных моделей изделий машиностроения и ведения конструкторской документации. В КОМПАС-3D имеется возможность повышения функциональности за счет создания дополнительных программных модулей для проведения прочностных и тепловых расчетов. Пакет программ ЛОГОС предназначен для проведения инженерного анализа и суперкомпьютерного моделирования физических процессов. В модулях «Аэрогидродинамика», «Тепло» и «Прочность» пакета ЛОГОС реализованы математические модели, которые позволят проводить расчеты задач внутренней, внешней и конечной баллистики.

Совместное использование пакетов прикладных программ КОМПАС-3D и ЛОГОС позволит повысить эффективность решения проектных баллистических задач за счет оцифровки и наглядности представления всех элементов артиллерийских систем, повышения скорости передачи данных, проведения вычислительного эксперимента основных этапов артиллерийского выстрела на стадии проектирования, сравнительного анализа вычислительного и натурального экспериментов на виртуальной баллистической трассе.

Заключение

Разработан программный комплекс математического моделирования баллистических процессов и визуализации траектории движения снаряда при различных условиях выстрела на основе виртуальной 3D-модели баллистической трассы. Дальнейшее развитие программного комплекса связано с ее интеграцией с отечественными САПР и пакетами суперкомпьютерного моделирования, что позволит повысить эффективность решения проектных баллистических задач.

Список литературы

1. *Русяк, И. Г.* Физические основы и газовая динамика горения порохов в артиллерийских системах / И. Г. Русяк, А. М. Липанов, В. М. Ушаков. – М. : Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2016. – 456 с.
2. *Суфиянов, В. Г.* Решение задачи комплексного моделирования артиллерийского выстрела с применением визуальных технологий для проектирования и обработки артиллерийских систем : дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.01, 05.13.18; [Место защиты: Ижев. гос. техн. ун-т им. М.Т. Калашникова]: защищена 08.06.17: утв. 29.12.17. – Ижевск, 2017. – 315 с.
3. Математическая модель газовой динамики, постепенного воспламенения, нестационарного и эрозионного горения порохов в артиллерийских системах / И. Г. Русяк, А. Н. Ищенко, В. З. Касимов, В. Г. Суфиянов, М. А. Ермолаев, В. М. Широков // Материалы XXIII Всероссийского семинара по струйным, отрывным и нестационарным течениям с международным участием. – Томск : НИУТПУ, 2012. – С. 265–276.
4. *Суфиянов, В. Г.* Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния ствола при выстреле // Интеллектуальные системы в производстве. – 2016. – № 3. – С. 13–17.
5. *Королев, С. А.* Методика расчета траектории движения снарядов и ракет при стрельбе с подвижного носителя / С. А. Королев, И. Г. Русяк, В. Г. Суфиянов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2016. – № 4 (31). – С. 13–18.
6. *Суфиянов, В. Г.* Исследование влияния конструкции снаряда на бронепробитие однородной стальной преграды // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2016. – № 4. – С. 82–85.
7. Влияние высоты подрыва снаряда на формирование осколочного поля / В. Г. Суфиянов, С. А. Королев, А. М. Липанов, И. Г. Русяк // Химическая физика и мезоскопия. – 2016. – Т. 18. № 4. – С. 524–533.
8. Система трехмерного моделирования КОМПАС-3D v17 // ООО «АСКОН - Системы проектирования». – URL: <http://kompas.ru/kompas-3D> (дата обращения: 05.04.2018).
9. ЛОГОС: пакет программ инженерного анализа и суперкомпьютерного моделирования // ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». – URL: <http://logos.vniief.ru/> (дата обращения: 05.04.2018).

А. Н. Селезнев, магистрант, e-mail: sasha.seleznev.95@mail.ru

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Д. Г. Калюжный, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

И. Н. Бурнышев, канд. техн. наук, вед. науч. сотр.

Институт механики УрО РАН, г. Ижевск

Лазерная система контроля материала нефтегазопровода

Проведены исследования образцов стали Ст20 и ШХ15 на водородопроницаемость с применением метода термокондуктометрии. Рассмотрено применение лазерной системы для контроля водорода, диффундирующего через стенку нефтегазопровода.

Ключевые слова: водород, охрупчивание, трубопровод, диффузия, лазер.

Введение

Водород – самое распространенное вещество во Вселенной. На его долю приходится примерно 88,6 % всех атомов. На Земле его доля составляет 17 % от всех атомов. Практически весь водород находится в различных соединениях, в качестве примесей. Простое вещество водород – это легкий бесцветный газ. Водород может оказывать негативное влияние на различные материалы.

Сведения из теории

Находясь в составе природного газа, который доставляется по трубам, водород может охрупчивать материал труб, что ведет к последующему его разрушению [1]. Методы контроля водорода, растворенного в металлах, основаны на нагревании или плавлении образца, т. е. являются разрушающими. Если же речь идет о материале трубопровода, то такой подход не позволяет осуществить

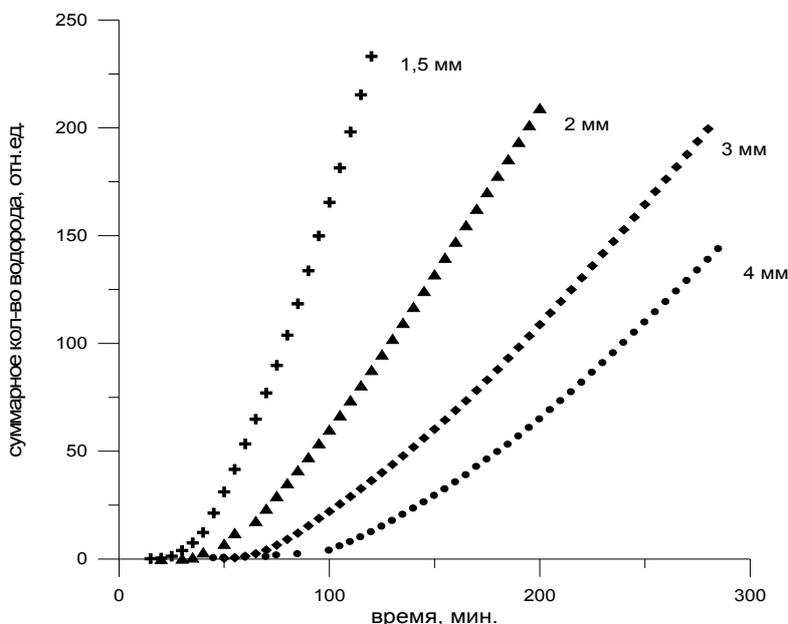
экспрессный контроль, а только периодическое исследование. Однако косвенным образом можно регистрировать состояние металла по составу газовой смеси, диффундирующей через стенку трубопровода. Лазерные методы спектроскопии газовых смесей в этом случае позволяют добиться высокой точности, проводить измерения в реальном масштабе времени и, что немаловажно, автоматизировать весь процесс [2].

Описание эксперимента

Процесс диффузии водорода через стальные образцы исследовался на сталях марок Ст20 и ШХ15. В специально изготовленной ячейке помещался пластинчатый стальной образец. С одной стороны образца электрохимическим методом создавалась водородосодержащая среда [3].

На другой стороне образца регистрировался поток диффундирующего водорода. Анализ прошедшего водорода осуществлялся с применением анализатора водорода «Bruker» «Galileo G8H» [4].

Зависимости суммарного количества водорода, прошедшего через образцы различной толщины за определенные промежутки времени, представлены на рисунке.



Суммарное количество водорода, прошедшее через образцы стали Ст20 различной толщины

Максимальное суммарное количество водорода, выделившегося за одинаковые промежутки времени испытаний, получено на образцах толщиной 1,5 мм. По мере роста толщины образцов количество прошедшего водорода уменьшается. Различные углы наклона представленных графиков обусловлены снижением скорости диффузии водорода при увеличении толщины образца. Что, в свою очередь, позволит рассчитать коэффициент диффузии водорода через рассматриваемый образец [5].

Результаты эксперимента и их обсуждение

Для регистрации потока водорода с успехом может быть применен метод когерентного антистоксового рассеяния света (КАРС). Данный метод подразумевает наличие когерентных лазерных пучков, зондирующих исследуемую водородосодержащую среду [6]. Уровень современной техники позволяет получить бигармоническую лазерную накачку в достаточно компактном и малоэнергоемком устройстве. Создание герметичной кюветы для сбора контролируемой смеси газов, оснащенной оптическими окнами для прохождения лазерного излучения, и системы регистрации оптического сигнала также осуществимо на современной элементарной базе [7]. Таким образом, возможно создание компактного, мобильного, автоматизированного комплекса контроля состояния металла трубопровода, который можно устанавливать в требуемом месте транспортной магистрали с целью получения данных в реальном масштабе времени.

Метод позволяет обеспечить чувствительность 1–5 молекул детектируемого газа на миллион других молекул [8].

Выводы

В данной работе были проведены эксперименты стали марки Ст20 и ШХ15 на водородопроницаемость. Для регистрации водорода был предложен метод когерентного антистоксового рассеяния света (КАРС).

Список литературы

1. *Либенсон, М. Н.* Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика) / М. Н. Либенсон, Е. Б. Яковлев, Г. Д. Шандыбина // Поглощение лазерного излучения в веществе / под общ. ред. В. П. Вейко. – СПб. : СПб ГУ ИТМО, 2008. – С. 55–59.
2. *Бруннер, В.* Справочник по лазерной технике. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 544 с.
3. *Бурнышев, И. Н.* Мониторинг потоков катодного водорода через металлические мембраны / И. Н. Бурнышев, Д. Г. Калюжный // Химическая физика и мезоскопия. – 2013. – Т. 15, № 1. – С. 71–75.
4. Исследование методов лазерной спектроскопии и разработка высокочувствительных лазерных газоанализаторов / В. П. Андрианов, К. В. Бандуркин, О. М. Брехов, А. Н. Волгин, Г. Н. Игнатъев // Рос. хим. ж. – 2001. – № 5-6. – С. 73–77.
5. Пат. 2525643 РФ на изобретение G01N 27/14 Датчик водорода / В. А. Александров, Д. Г. Калюжный, И. Н. Бурнышев ; Бюл. № 23 20.08.2014.
6. *Зелто, О.* Принципы лазеров / пер. под науч. ред. Т. А. Шмаонова. – 4-е изд. – СПб. : Лань, 2008. – 720 с.
7. Лазерная техника и технология. – В 7 кн. Кн. 6. Основы лазерного термоупрочнения сплавов : учеб. пособие для вузов / А. Г. Григорьянц, А. Н. Сафонов. – М. : Высш. шк., 1988. – 159 с.
8. Фарзани, Н. Г. Автоматические детекторы газов / Н. Г. Фарзани, Л. В. Илясов. – М. : Энергия, 1972. – 168 с.

В. М. Султанова, магистрант, venemara@mail.ru

А. А. Спиридонова, магистрант, ms.iiiokolad@mail.ru

А. В. Панченко, магистрант, archi_boom1@mail.ru

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

**Исследование влияния микрокремнезема
совместно с пластифицирующей добавкой
и углеродными нанотрубками на свойства портландцемента**

В статье рассмотрена проблема влияния химических и минеральных добавок на свойства цементного вяжущего. Определены физико-механические характеристики цементного раствора при совместном введении в него микрокремнезема, пластификатора С-3 и углеродных нанотрубок. Также выявлено, что микрокремнезем эффективнее всего добавлять в раствор в качестве суспензии.

Ключевые слова: портландцемент, микрокремнезем, пластификатор, углеродные нанотрубки, суспензия.

Современное материаловедение предполагает повышенные требования к компонентам применяемых материалов, их физико-технических, технологических и других свойств. Статья посвящается актуальному на сегодняшний день направлению исследований повышения эксплуатационных характеристик бетонных изделий с использованием минеральных добавок.

Решение одновременно проблем энерго-, ресурсосбережения и улучшение экологических параметров способствует тенденции развития строительного материаловедения по применению строительных материалов в сочетании с техногенными отходами. Образование крупнотоннажных отходов металлургической и топливно-энергетической промышленности в виде шлаков, зол и т. д.

позволяет использовать их в качестве комплексных модификаторов наряду с другими добавками, в том числе и пластификаторами [1].

Целью статьи является исследование совместного влияния микрокремнезема, суперпластификатора С-3 и углеродных нанотрубок на свойства цементного раствора, а также определение оптимального введения комплексной добавки.

Для постановки экспериментальной части исследования потребовались следующие компоненты: гидравлическое вяжущее – портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н (Магнитогорского цементно-огнеупорного завода), соответствующий ГОСТ 10178–85; микрокремнезем МК-85 (Челябинского электрометаллургического комбината), произведенный по ТУ 5743-001-2010; пластифицирующая добавка С-3 на основе сульфированных солей производства ООО «ПОЛИ-ПЛАСТ-УралСиб», удовлетворяющий требованиям ТУ 5870-002-58042865-05; модифицирующая добавка «Fulvec-100», изготовленная производством ООО «Новый дом» в соответствии с ТУ 5728-0017-49630959-2015; речной песок с района Камского месторождения в соответствии с ГОСТ 8736–2014; стабилизатор – нитрилотриметилфосфоновая кислота, которая соответствует ТУ 2439-347-05763441-2001.

Исследования по оптимально выбору введения комплексной добавки в состав цементно-песчаного раствора проводились на основании данных ранее проведенных испытаний. Так, в статье [2] говорится о том, что при добавлении в цементное тесто 30 % микрокремнезема и 1,225 % суперпластификатора С-3 прочностные показатели возрастают на 28 % по сравнению с контрольным образцом, содержащим в своем составе только портландцемент и воду. Также в статье *«Определение свойств портландцемента в присутствии микрокремнезема и суперпластификатора С-3»* приводятся данные по расслоению водных суспензий, откуда берем интересующий нас результат с минимальным расслоением и максимальным содержанием микрокремнезема: водная суспензия, включающая в свой состав 65 % воды, 35 % микрокремнезема, 0,4 % пластификатора С-3 и 0,16 % нитрилотриметилфосфоновой кислоты.

На основании взятых результатов из статьи [2] разрабатывалось четыре состава, два из которых относятся к контрольным, а два к модифицирующим, при этом один при сухом способе ввода добавочных компонентов, а другой при мокром. Подробные составы приведены в таблице.

Составы цементных растворов для определения физико-механических характеристик

№ состава	В/В	(ПЦ+МК): Песок	Количество вяжущего, %		Количество добавки, % от общей массы вяжущего	
			ПЦ	МК	СП «С-3»	МУНТ «Fulvec-100»
Контрольный	0,48	1:3	100	0	–	–
Состав 1	0,50	1:3	70	30	–	–
Состав 2 (сухой)	0,41	1:3	70	30	1,225	0,25
Состав 3 (мокрый)	0,45	1:3	07	30	1,225	0,25

Для оценки эффективности работы разработанных композиционных вяжущих в бетонах изготавливались образцы мелкозернистого бетона. В контрольный состав образцов входили портландцемент и песок. Состав 1 предполагал перемешивание цемента, микрокремнезема и песка. Состав 2 включал «сухой» способ перемешивания цемента и микрокремнезема с последующим введением водной дисперсии с МУНТ и суперпластификатора С-3. «Мокрый» способ в виде суспензии микрокремнезема (20 %) с МУНТ и микрокремнезема в сухом состоянии (10 %) представлял состав 3.

Определение прочности цементных растворов на сжатие и изгиб проводилось на 7-е и 28-е сутки в виде образцов-балочек размерами 40×40×160 мм на гидравлическом прессе ПГМ100-МГ4 в соответствии с ГОСТ 310.4–81. Результаты испытаний предела прочности на изгиб приведены на гистограмме (рис. 1).

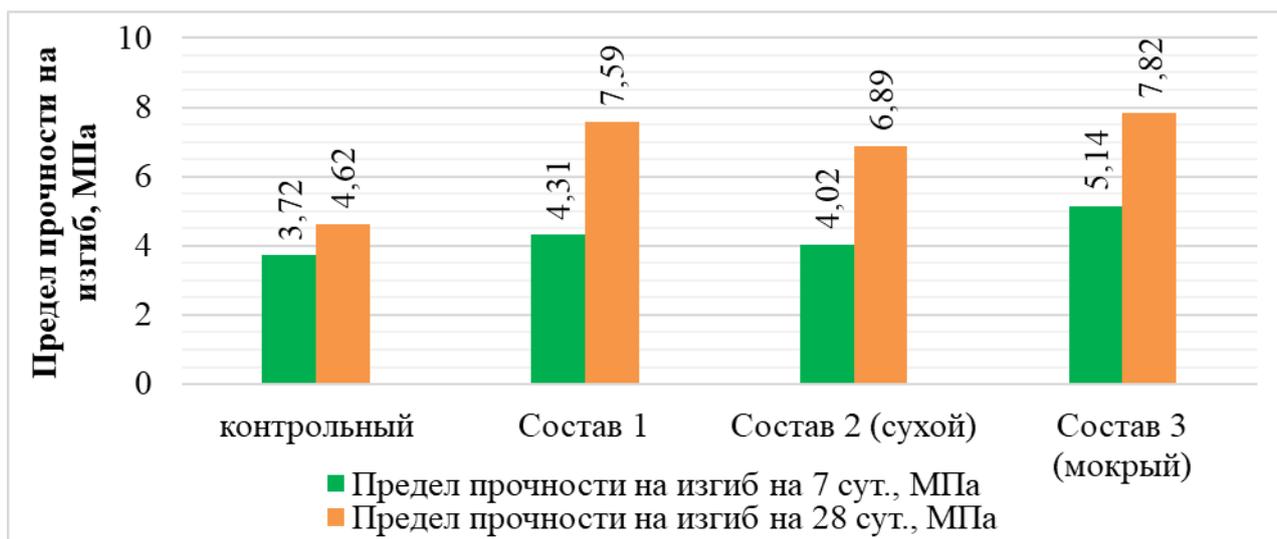


Рис. 1. Гистограмма результатов предел прочности образцов-балочек на изгиб

Из полученных результатов (рис. 1) видно, что мокрый способ введения добавок наиболее эффективен для прочностных показателей на изгиб, где прирост прочности составил на 7-е сутки 38 %, а на 28-е сутки 69 % относительно контрольных составов.

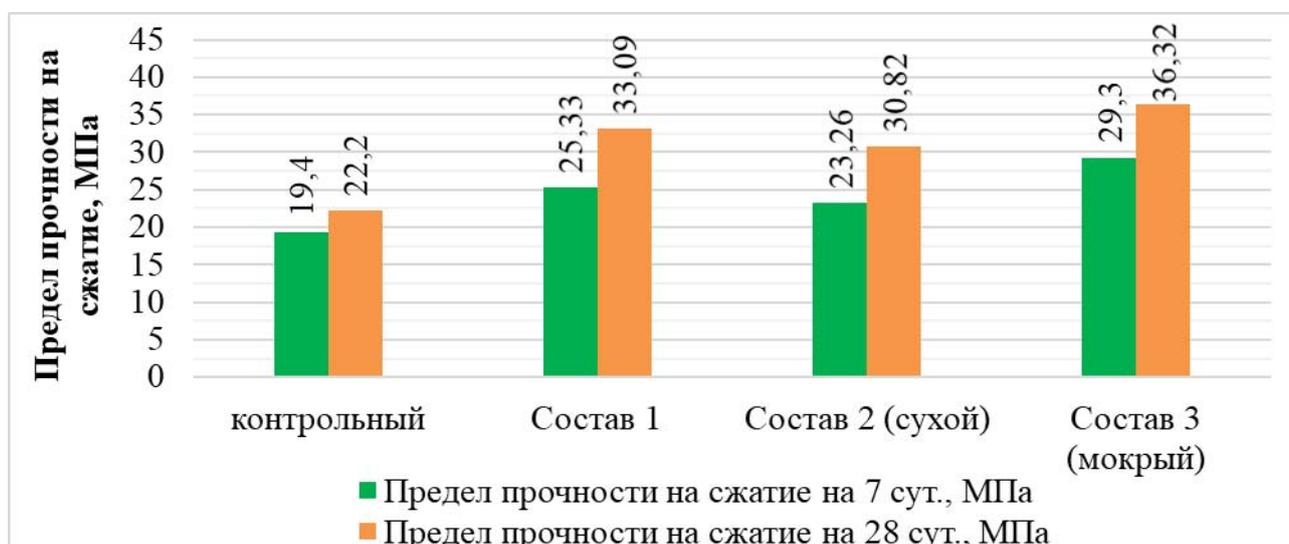


Рис. 2. Гистограмма результатов предел прочности образцов-балочек на сжатие

Такие же результаты можно наблюдать и для прочностных показателей на сжатие (рис. 2). Так, мокрый способ введения комплекса добавок позволяет повысить прочность на 7-е сутки на 51 % и на 28-е сутки на 63 % относительно без добавочного состава. Таким образом, наиболее рациональным модифицированным составом оказался состав 3.

При добавлении суперпластификатора С-3 происходит уменьшение количества воды затворения, что приводит к повышению прочности конечного продукта. Такое изменение количества жидкой фазы в мелкозернистых бетонах связано со стерическим эффектом пластификатора, который основывается на отталкивании вяжущих зерен друг от друга благодаря длине боковых цепей в структуре сульфированных химических добавок.

При сравнении результатов сухого и мокрого способа добавления комплекса добавок видно, что второй способ наиболее эффективен. Данные увеличения прочностных показателей связаны с заранее перемешанным аморфным диоксидом кремния и водой, которые при дальнейшем добавлении в цементно-песчаный раствор наиболее равномерно распределяются в нем. Таким образом, получаем композиционный материал, в состав которого входят такие компоненты, как микрокремнезем, отвечающий за пуццолановые свойства, и суперпластификатор С-3, регулирующий количество воды.

Подводя итоги данного исследования, можно сделать следующие выводы:

– Основой для приготовления образцов с целью проведения экспериментов был использован портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н, мелким заполнителем послужил речной песок с модулем крупности $M_k=1,9$. В качестве минеральной добавки использовался микрокремнезем МК-85, также были подобраны водоредуцирующая добавка С-3 и нанодобавка «Fulvec-100» для улучшения работы микрокремнезема в составе цементной смеси и для получения лучших результатов по прочности.

– Определен наиболее эффективный способ введения микрокремнезема в состав цементного композита по прочности, им оказался «мокрый» способ в виде водной суспензии микрокремнезема с 0,295 % суперпластификатора С-3, 0,118 % НТФК и 0,25 % дисперсии «Fulvec-100».

– Разработанная модифицированная водная суспензия может быть использована при изготовлении бетонных смесей без существенного изменения технологической линии производства. Также разработанная суспензия может изготавливаться на отдельном производстве и продаваться в тарах по 10–15

литров. Применение модифицированной водной суспензии приводит к экономической эффективности, в качестве себестоимости бетона.

Список литературы

1. *Ушеров-Маршак, А. В.* Химические и минеральные добавки в бетон : учебник. – Харьков, 2005. – 250 с.

2. *Спиридонова, А. А.* Определение свойств портландцемента в присутствии микрокремнезема и суперпластификатора С-3 / А. А. Спиридонова, А. В. Воронова, В. М. Султанова // Строительство и архитектура. Опыт и современные технологии : электронный интернет-журнал. – Вып. 8: по материалам IX Всероссийской молодежной конференции аспирантов, молодых ученых и студентов «Современные технологии в строительстве. Теория и практика». – Ч. I, июнь, 2017. – 7 с.

С. И. Тарасов, студент, email: sergeytarasovscsa@yandex.ru

Р. Г. Галимьянов, студент

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Разработка программы расчета паросиловых установок с бинарным циклом

Цель работы: аналитический обзор существующих технических решений, разработка программ расчета пароводяного и фреонового циклов паросиловой установки. Основная часть: формульная аппроксимация таблиц насыщенного и перегретого пара воды и фреона-12: получение формул, оценка погрешностей в рабочем диапазоне давления и температуры. Разработка программ расчета на языке Паскаль пароводяного и фреонового циклов ПСУ, отладка и тестирование составных блоков программы.

Ключевые слова: паросиловая установка, бинарный цикл, водяной пар, фреоновый пар.

Введение

Паросиловая установка – это тепловой двигатель, предназначенный для преобразования теплоты рабочего тела в механическую работу. К рабочему телу паросиловой установки предъявляются следующие требования: высокая критическая температура при достаточно широком критическом давлении, низкая температура насыщения при низких температурах охлаждающей воды, малая теплоемкость в жидкой фазе, высокая теплоемкость перегретого пара. Недостатком воды как рабочего тела может являться критическая температура $t_k = 374,14$ °С при критическом давлении $P_k = 22,129$ МПа. Тогда целесообразнее

комбинировать различные рабочие тела в бинарном цикле. В качестве дополнительного рабочего агента можно применять ртуть, различные хладагенты. В северных районах для предотвращения замерзания жидкости широко применяются различные низкокипящие жидкости, в частности фреон-12.

Основная часть

Для расчета программного комплекса оборудования, обеспечивающего работу бинарного цикла, необходимо знать параметры рабочих тел (энтропию, энтальпию), их зависимость от температуры на линии насыщения, зависимость от температуры и давления в однофазной области или области перегретого пара. Главным неудобством в проведении расчетов является работа с таблицами и диаграммами. Энтальпию водяного пара можно вычислить как [1]:

$$h = h_0 + \frac{RT^2}{1000} \cdot \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^8 \frac{j}{i} \cdot \frac{a_{ij} p_i}{\tau^{j+1}}, \quad (1)$$

где $h_0 = 1808,92 + 1,48286 \cdot T + 3,79025 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 106,3196 \cdot T$ – энтальпия водяного пара при давлении в тройной точке $p_0 = 611,2$ Па; $R = 0,46151$ кДж/(кг К) – газовая постоянная водяного пара, a_{ij} – коэффициенты уравнения (1) (табл. 1).

Таблица 1. Значения коэффициентов вириального уравнения состояния водяного пара

j	$a_{1j} \cdot 10^4$	$a_{2j} \cdot 10^6$	$a_{3j} \cdot 10^8$
0	-5,01140	-29,133164	-34,55136
1	19,6657	129,65709	230,69622
2	-20,9137	-181,95576	-657,21885
3	2,32488	0,704026	1036,1870
4	2,67376	247,9618	-977,45125
5	-1,62302	-264,05235	555,8894
6	–	117,60724	-182,04871
7	–	-21,276671	30,554171
8	–	0,5248023	-1,9917134

Аналогично можно вычислить энтропию водяного пара [1]:

$$s = s_0 + R \cdot \ln\left(\frac{p_1}{p_0}\right) + R \cdot \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^8 \frac{j-1}{i} \cdot \frac{a_{ij} \cdot p_i}{\tau \cdot j}, \quad (2)$$

где $s_0 = 0,7991 + 3,4144 \cdot \lg T + 7,5805 \cdot 10^{-4} \cdot T - 46,174 \cdot T$ – энтропия водяного пара при давлении $p_0 = 611,2$ Па; $R = 0,46151$ кДж/(кг·К) – газовая постоянная водяного пара, T – абсолютная температура в К, a_{ij} – коэффициенты уравнения (2) (табл. 1). Сравниваем расчетные данные с табличными значениями.

Таблица 2. Сравнение результатов таблиц и результатов расчетов термодинамических свойств воды и водяного пара в состоянии насыщения

t	h' (табл.)	h' (расч.)	h'' (табл.)	h'' (расч.)	s'' (табл.)	s'' (расч.)
°С	кДж/кг	кДж/кг	кДж/кг	кДж/кг	кДж/(кг·К)	кДж/(кг·К)
1	4,17	4,23	2502,8	2502,61	9,1298	9,1297
10	41,99	41,91	2519,4	2519,3	8,9009	8,9010
25	104,77	104,77	2546,8	2546,6	8,5583	8,5583
50	209,26	209,35	2382,5	2591,4	8,0771	8,0769
100	419,06	419	2676,3	2675,86	7,73564	7,3565
150	632,2	632,3	2746,3	2745,3	6,8381	6,8378
200	852,4	852,44	2791,4	2789,9	6,4289	6,4286
250	1085,8	1086,1	2799,5	2797,3	6,0693	9,0687
300	1345,4	1345,8	2748,4	2745,25	5,7037	5,703

Сравнивая результаты, видим, что ошибка расчета не превышает 5 %.

Для расчета термодинамических свойств фреона-12 выполним аппроксимацию таблицы фреона-12 на линии насыщения [2]. Энтальпию можно вычислить как: $h' = 206,2 \cdot e^{0,00242 \cdot (t+273,15)}$ $h'' = 448 \cdot e^{0,00069 \cdot (t+273,15)}$ Энтропию можно вычислить как $s' = 3,1 \cdot e^{0,00089 \cdot (t+273,15)}$; $s'' = 4,7212 \cdot \left(\frac{t + 273,15}{273,15}\right)^{-0,025}$, где t – температура фреона в °С.

Полученные результаты сравниваем с табличными значениями.

Таблица 3. Сравнение результатов таблиц и результатов расчетов термодинамических свойств фреона и пара фреона в состоянии насыщения

t	h' (табл.)	h' (расч.)	h'' (табл.)	h'' (расч.)	s' (табл.)	s' (расч.)	s'' (табл.)	s'' (расч.)
$^{\circ}\text{C}$	кДж/кг	кДж/кг	кДж/кг	кДж/кг	кДж/(кг г·К)	кДж/(кг г·К)	кДж/(кг г·К)	кДж/(кг г·К)
-100	313,8	313,52	506,1	504,8	3,61	3,61	4,721	4,751
-50	354,8	353,8	530,4	522,5	3,818	3,78	4,601	4,721
-10	390,6	389,81	548,4	537,2	3,965	3,918	4,565	4,702
0	400	399,36	552,9	540,9	4	3,953	4,56	4,697
10	409,6	409,14	557,3	544,7	4,034	3,988	4,556	4,693
20	419,3	419,1	561,5	548,4	4,067	4,024	4,552	4,689
50	449,8	450,7	572,3	559,9	4,165	4,133	4,544	4,678
100	512,1	508,7	566,1	579,6	4,337	4,321	4,508	4,661

Сравнивая результаты, получаем вывод, что ошибка расчета не превышает 5 %.

Заключение

В рассмотренных случаях расчетные данные отличаются от табличных не более чем на 5 %, следовательно, данные формулы для воды и фреона-12 можно применять для расчета программного комплекса оборудования бинарного цикла паросиловой установки.

Список литературы

1. *Зубарев, А. Н.* Практикум по технической термодинамике / А. Н. Зубарев, А. А. Александров, В. С. Охотин. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – С. 247–249.
2. *Теплофизические свойства фреонов / В. В. Алтунин, В. З. Геллер, Е. А. Кременевская, И. И. Перельштейн, Е. К. Петров ; под ред. С. Л. Ривкина.* – Т. 2. Фреоны метанового ряда. – М.: Издательство стандартов, 1985. – С. 120–124.

А. С. Теплякова, студентка

А. А. Загайнова, студентка, e-mail: aleksandra.zagainova@yandex.ru

Э. В. Алиев, канд. техн. наук, доц. кафедры «САиУК»

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

ПОЛЬЗА-коин

Целью данного проекта является разработка полезной криптовалюты «ПОЛЬЗА-коин», которая путем объединения вычислительных мощностей помогает решать задачи в различных сферах деятельности. Исходя из цели можно выделить следующие задачи: разработка схемы транзакции «Польза-коин», разделение на сегменты данной криптовалюты, установление контроля за криптовалютой, разработка «Пирамиды экспертов». Данная криптовалюта будет служить на благо обществу и так же, как и любая другая монета, ее можно будет хранить в электронных кошельках, перечислять на другие кошельки.

Ключевые слова: криптовалюта, транзакция, социальная ответственность, майнинг, социально-экономические задачи, электронный кошелек.

Последнее время очень широкую известность получили так называемые криптовалюты. И, несмотря на то, что криптовалюты остаются достаточно одиозным явлением, давайте разберемся, может ли в этом быть какая-нибудь рациональная идея.

Биткойн получил распространение всего за полтора года. Заметив такой успех, многие разработчики занялись созданием своих криптовалют. Большинство из них, по сути, копируют технологию первой криптовалюты [1, 2, 5].

К сегодняшнему дню известно о существовании 92 разных криптовалют. Не все из них сейчас пользуются спросом. Однако они вполне могут нас уди-

вить через 2-3 года. У каждой из криптовалют есть технологические отличия. Но каждая из них нацелена на получение коммерческой выгоды [3, 4].

А что если подчинить идею криптовалют на благо обществу! Предлагаем разработку полезной криптовалюты «ПОЛЬЗА-коин», которая будет работать для пользы человечества посредством участия майнеров. Система «ПОЛЬЗА-коин» путем объединения вычислительных мощностей поможет решать задачи в медицине, биологии, математике, астрофизике, образовании в других научно-социальных сферах.

Вы не тратите киловатты и не греете воздух попусту, как это происходит с другими криптовалютами. Вы добываете ПОЛЬЗА-коин, помогая другим, рассчитывая полезные для науки и общества задачи.

Проект работает так же, как и любая другая монета, ее можно хранить в электронных кошельках, перечислять на другие кошельки.

Как новый пользователь, вы можете начать пользоваться ПОЛЬЗА-коин, даже не понимая технических деталей. Как только вы установили ПОЛЬЗА-коин-кошелек на свой компьютер или мобильный телефон, он сгенерирует ваш первый ПОЛЬЗА-коин-адрес, которых вы в дальнейшем можете создать столько, сколько понадобится. Вы можете сообщать свои адреса друзьям, так что они смогут платить вам или наоборот. На самом деле, это очень похоже на то, как работает E-mail, кроме того, что ПОЛЬЗА-коин-адреса следует использовать только один раз.

Новую криптовалюту может создать любой, но, чтобы она имела стоимость и стала средством обмена, нужно общественное признание, у криптовалюты должна быть ликвидность [7].

Существующие криптовалюты активно применяются только в узкой отрасли, в отличие от предложенной нами валюты. Мы считаем, что предложенные нами сегменты являются востребованными для 2018 г. (таблица).

Сегменты могут быть совершенно разными, они могут быть направлены на общественно-полезные дела, благотворительность, присмотр за животными, реклама, уборка помещения и т. д.

Сегменты ПОЛЬЗА-коин

ПОЛЬЗА-коин			
ГРИН-коин	БЛАГО-коин	РЕПОСТ-коин	МАРКЕТИНГ-коин
Связана с решением экологических проблем, озеленением и т. д.	Решение задач, направленных на помощь друг другу в самых непростых ситуациях	За счет репостов в социальных сетях клиенты получают РЕПОСТ-коины, а мы в свою очередь получаем рекламу	Связана с решением экономико-математических задач

Для примера рассмотрим сегмент – БЛАГО-коин.

В этом сегменте находятся задачи, направленные на помощь друг в другу в самых непростых ситуациях. Допустим, человеку срочно нужно сходить в аптеку или магазин, а такой возможности нет – это и есть задача. Человек, решивший помочь, откликается, получает необходимые инструкции и идет помогать. За выполненную работу он получает отзыв-подтверждение от заказчика, после проверки которого эксперты-модераторы, составив положительный или отрицательный ответ, сделают заключение о зачислении ему криптовалюты.

Кто такие эксперты?

Создадим собственную систему сертификации и аккредитации экспертов. Соответственно, эксперт, нарушивший правила, лишается аккредитации.

Эксперты поднимаются с низов. Сначала работают, выполняя задания, принося пользу, затем с истечением определенного времени или отработанных часов человека поднимают на ступень, аккредитуют и делают экспертом, т. к. они уже в этой области все изучили.

Необходим контроль за выполнением польза-коин-транзакций. Он будет заключаться в отсеивании «подставных заказчиков». Как говорилось уже ранее, за выполненную работу заказчики должны писать отзывы, за которые они получают ПОЛЬЗА-коины, но в данной ситуации возможны отзывы «подставных

заказчиков». Поэтому услуги не должны быть бесплатными, просто заказ должен стоить гораздо ниже рыночной цены. Допустим на рынке услуг выполнение определенной услуги стоит 2000 руб., а мы будем предлагать стоимость этой услуги за 100 руб., таким образом заказчик платит нам 100 руб. вместо 2000 руб. и оставляет отзыв на сайте, на данном этапе отбрасываются «подставные заказчики», которые хотят получить польза-коины без выполнения и оплаты работы, так как им будет невыгодно платить деньги за работу, которую им не выполнили.

Также мы можем рассчитывать на финансирование нашего проекта из бюджета, так как мы будем выполнять их социально значимую работу в 5–10 раз дешевле.

От чего зависит стоимость криптовалюты?

Перед тем как создавать личную криптовалюту, необходимо рассчитать, что именно для этого вам нужно приобрести из технического обеспечения, а что у вас уже есть, что будет оптимально именно для выполнения вашей задачи. От этих расчетов зависит ответ на вопрос, сколько стоит создать криптовалюту, и для каждого случая это будет разный ответ.

Кроме технического обеспечения, стоимость создания криптовалюты зависит от затрат других ресурсов, которые будут тратиться в процессе работы [8].

Что же касается стоимости самых цифровых денег, напомним, что их курс не зависит от внешних экономических факторов, государств, скачков доллара, и ничем реальным (тем же золотом) цифровые деньги не обеспечиваются. До того как выпустить свою созданную криптовалюту, вы должны быть готовы к тому, что ее курс в первую очередь зависит от спекуляций и человеческого фактора: есть интерес, ажиотаж, интрига – курс растет, нет интереса – падает [6, 8].

В заключение хотелось бы сказать, что криптовалюта – это деньги будущего, и то, в каком направлении она будет развиваться, зависит только от нас.

Список литературы

1. Руденко, Е. О. Возможности и перспективы развития криптовалют / Е. О. Руденко, Е. В. Красова // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 4-3.
2. Кисляк, Д. Г. Электронные деньги в системе электронного бизнеса // Экономика, право и проблемы управления: сб. науч. трудов. Минск : Учреждение образования «Частный институт управления и предпринимательства». – 2012. – № 2. – С. 72–73.
3. Власов, А. В. Электронные деньги и эволюционная теория происхождения денег // Наука и образование: хозяйство и экономика; предпринимательство; право и управление. – 2012. – № 12. – С. 13–23.
4. Обзор цифровых валют [Электронный ресурс]. – URL: http://www.prostobank.ua/internet_banking/stati/obzor_tsifrovyh_kriptovalyut (дата обращения: 27.03.2018).
5. 12 удивительных фактов о «криптовалюте» Bitcoin [Электронный ресурс]. – URL: <http://hitech.vesti.ru/news/view/id/3771> (дата обращения: 12.04.2018).
6. Информация об использовании при совершении сделок «виртуальных валют», в частности, Биткойн [Электронный ресурс]. – URL: http://www.cbr.ru/press/pr.aspx?file=27012014_1825052.htm (дата обращения: 10.03.2018).
7. Новые функции денег в виртуальной экономике [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.creativeconomy.ru/articles/2723/> (дата обращения: 27.03.2018)
8. Block chain – публичная база всех транзакций, когда-либо совершенных в системе Bitcoin [Электронный ресурс]. – URL: <https://blockchain.info/ru/charts/market-price?timespan=2years> (дата обращения: 10.03.2018).

К. С. Тратканова, магистрант, e-mail: kseniya.malshka.zu@mail.ru
ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Разработка корректирующих действий для повышения конкурентоспособности учебного заведения

Данная статья направлена на разработку корректирующих действий для повышения конкурентоспособности учебного заведения. В ходе работы была построена структурно-логическая модель и рассмотрены показатели, влияющие на конкурентоспособность учебного заведения. Предложены рекомендации для проведения корректирующих действий.

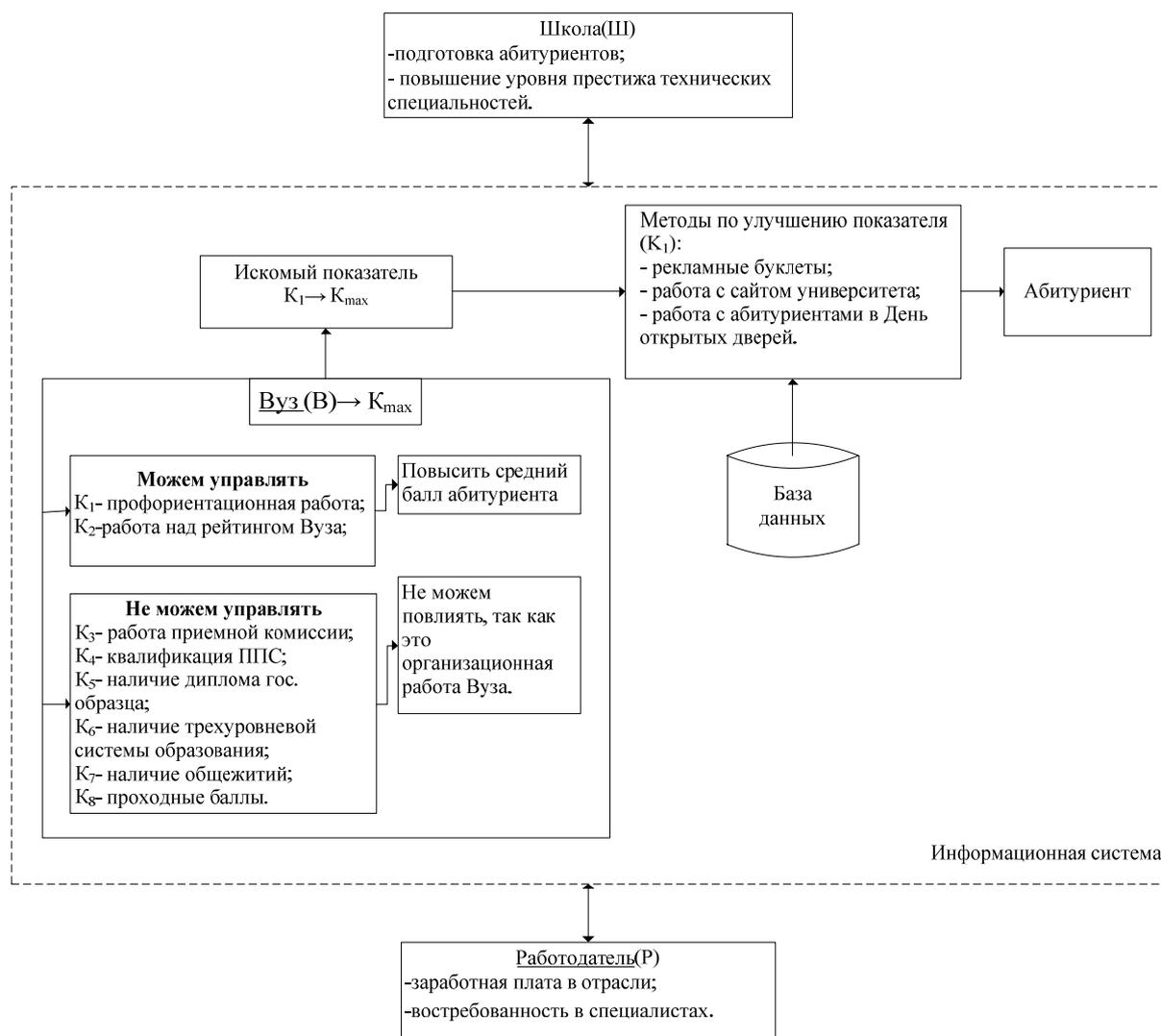
Ключевые слова: структурно-логическая модель, абитуриент, конкурентоспособность, критерии, факультет, профориентационная деятельность.

Конкурентоспособность учебного заведения определяется способностью:

- готовить высококвалифицированных специалистов, выдерживающих конкурентную борьбу на внешнем и внутреннем рынке труда;
- предоставлять качественные образовательные услуги;
- удовлетворять запросы потребителей достижением соответствующего уровня образования;
- наличием у университета конкурентных преимуществ [1].

Для определения конкурентоспособности учебного заведения нужна оперативная и объективная методика ее оценки, с помощью которой можно не только оценить деятельность учебного заведения со стороны потребителя образовательных услуг, но и предложить конкретные мероприятия по повышению его конкурентоспособности [2, 3]. Для достижения этой цели строится струк-

турно-логическая модель управления показателями рейтинга вуза для абитуриентов, представленная на рисунке.



Структурно-логическая модель управления показателями рейтинга вуза для абитуриентов

Согласно модели управления показателями рейтинга вуза выделим критерий K как конкурентоспособность вуза для абитуриентов:

$$K = \{K_1, K_2, \dots, K_n\},$$

где n – количество показателей влияющих на конкурентоспособность вуза; K_1, K_2, \dots – факторы, влияющие на конкурентоспособность вуза, рассмотрим подробно каждый [4]:

1) Приемная комиссия

Работа приемной комиссии заключается в наборе студентов, проведении вступительных экзаменов, а также зачислении в состав обучаемых лиц, прошедших конкурс. Самый главный приоритет при зачислении – единый государственный экзамен, сдаваемый учащимися школ, в котором показывают свои знания по предметам. Качество знаний, оцениваемых ЕГЭ, на примере Удмуртской Республики можно представить в табл. 1 [5].

Таблица 1. Средний балл ЕГЭ учащихся школ Удмуртии

Общеобразовательный предмет	Средний тестовый балл		
	2015	2016	2017
Физика	51,2	51,2	55
Информатика и ИКТ	53,6	53	62
Обществознание	53,3	42	61
Русский язык	65,9	68	70
Математика (профильный уровень)	45,4	46,3	51
Английский язык	64,92	69,78	70,1

При анализе таблицы видно, как вырос средний балл абитуриентов, сдаваемых ЕГЭ в 2017 году, по сравнению с 2016 годом по каждому из предметов.

2) Квалификация профессорско-преподавательского состава

В структуре вуза преподаватели распределены по кафедрам с закреплением дисциплин и учебных поручений, соответствующих их квалификации, и имеют возможность периодически проходить курсы повышения квалификации и самосовершенствоваться.

Мониторинг педагогической деятельности ППС вуза выделяют две группы показателей: квалификационные характеристики каждого преподавателя и качество проведения учебного занятия.

С целью получения квалификационной характеристики преподавателя определены и систематизированы информативные признаки для разных катего-

рий преподавателей, отражающие уровни их профессионализма. Эти признаки положены в основу расчета рейтинговой оценки, позволяющей объективно обосновать индивидуальный выбор программы повышения квалификации. Опыт ряда вузов показал, что анкетирование студентов является достаточно эффективным способом оценивания качества преподавания.

Методика анкетирования позволяет выявить возрастающее внимание студентов на установку отношений «преподаватель – студент», а также отследить динамику тенденций (увеличения, уменьшения) на каждом последующем курсе числа студентов, удовлетворенных (неудовлетворенных) деятельностью преподавателя по содействию в росте образовательных достижений.

3) Наличие диплома государственного образца

Дипломы государственного образца выдаются всеми государственными высшими учебными заведениями России, прошедшими специальную процедуру аккредитации. В ИжГТУ имени М. Т. Калашникова имеется свидетельство об аккредитации вуза, выданное 14 сентября 2016 года и действительно по 31 января 2020 года.

Наличие у диплома статуса «государственный» говорит нам о том, что вуз, его выдавший, имеет все необходимые условия для предоставления слушателю качественного высшего образования.

Лицензия на учебную деятельность выдается Министерством образования государства и служит формальным разрешением на право ведения юридическим лицом данного вида экономической деятельности.

Так же, как свидетельство об аккредитации, у ИжГТУ имени М. Т. Калашникова есть и лицензия на осуществление образовательной деятельности вузом.

4) Наличие трехуровневой системы образования

В соответствии с Болонской системой существует несколько уровней образования. Первый уровень – бакалавриат; второй – магистратура (повышение квалификации специалиста); третий – аспирантура – переходное звено от квалификации специалиста наивысшего уровня до квалификации научного работника.

Обучение в магистратуре дает возможность магистрантам развить и реализовать свои творческие способности и получить углубленные знания по выбранной программе подготовки под руководством научного руководителя. Всего выделенных бюджетных мест на 2018/19 учебный год представлено в табл. 2 [5].

Таблица 2. Бюджетные места в магистратуру, аспирантуру

Бакалавриат			
ИжГТУ	УдГУ	МГТУ	МГУ
908	687	1707	3559
Магистратура			
ИжГТУ	УдГУ	МГТУ	МГУ
429	462	1052	2556
Аспирантура			
ИжГТУ	УдГУ	МГТУ	МГУ
25	20	–	–

Как видно из табл. 2, большое количество бюджетных мест выделяется на бакалавриате в Москве в МГУ имени М. В. Ломоносова. В Ижевске ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, а вот количество бюджетных мест в магистратуре больше выделяется в УдГУ. В аспирантуру места выделяются по квоте в Москве.

5) Наличие общежитий

Количество мест, выделенных в студенческом общежитии, зависит от количества обучающихся в вузе – чем больше студентов, тем больше может быть общежитий. Такие общежития вузов обычно объединены в студенческие городки. Если общежитий много, то у каждого факультета или института в университете может быть свой корпус.

Каждый университет выделяет определенное количество мест в общежитиях (табл. 3).

В табл. 3 представлено общее количество бюджетных мест, выделяемых университетами, 939 мест выделяется МГТУ имени Н. Э. Баумана в городе Москве, а в Ижевске большее количество выделено в УдГУ – 715 мест.

Таблица 3. Количество мест в общежитии

ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, Ижевск	Удмуртский государствен- ный университет, Ижевск	МГТУ имени Н. Э. Баумана, Москва
450	715	939

б) Проходной балл за прошлый год

Многие вузы заранее оглашают балл, необходимый для поступления на бюджетное место, это позволяет реально оценить свои шансы на попадание в выбранное учебное заведение, а также подобрать наиболее подходящие варианты. В 2018 году сильных изменений при сдаче ЕГЭ и поступлении в вуз не предвидится, учащиеся могут ориентироваться на данные предыдущего года.

Проведен анализ проходных баллов вузов городов Ижевска и Москвы, близких к направлению факультета «Управление качеством», полученные данные представлены в табл. 4.

Таблица 4. Проходные баллы университетов

Направление	ИжГТУ имени М. Т. Калашни- кова, г. Ижевск	УдГУ, г. Ижевск	МГУ имени М. В. Ломоносова, г. Москва	МГТУ имени Н. Э. Баумана, г. Москва
<i>Проходной балл 2017</i>				
<i>Управление качеством</i>	182	241	324	242
– системный анализ	167	230	322	236
– стандартизация	–	–	346	197
<i>Техносферная безопасность</i>	163	146	–	214
– природообу- стройство и водополь- зование	–	149	–	–
<i>Мехатроника и робототехника</i>	165	–	–	256

Направление	ИжГТУ имени М. Т. Калашни- кова, г. Ижевск	УдГУ, г. Ижевск	МГУ имени М. В. Ломоносова, г. Москва	МГТУ имени Н. Э. Баумана, г. Москва
<i>Нанотехнологии и микросистемная тех- ника</i>	162	–	422	261
– прикладная мате- матика и информати- ка	–	–	416	233
– инновационное предпринимательство	–	–	448	229
– биоинженерия и биоинформатика	–	–	–	233

По проходным баллам города Ижевска можно сказать большое количест-
во в УдГУ, а в Москве МГУ имени М. В. Ломоносова.

7) Рейтинг вузов

Абитуриентам и их родителям часто непросто сделать правильный выбор
среди огромного разнообразия образовательных организаций. И именно рей-
тинги вузов помогают сделать окончательный выбор и понять, какой вуз по-
дойдет больше всего. В табл. 5 представлен рейтинг анализируемых вузов го-
рода Москвы и Ижевска.

Таблица 5. Рейтинг вузов

Университет	Место в РФ
МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва	1-е
МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва	5-е
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск	164-е
УдГУ, Ижевск	197-е

8) профориентационная работа

Главный показатель, исследуемый в структурно-логической модели и направленный на повышение конкурентоспособности факультета, – профориентационная работа, с помощью которой можем повлиять на дальнейший выбор абитуриента.

Можно выделить несколько методов по улучшению показателя профориентационной работы, такие как День открытых дверей, рекламные буклеты, сайт вуза, рассмотрим более подробно каждый [6]. Все методы взаимосвязаны между собой, поэтому проанализируем и представим в данные в одной таблице, табл. 6.

Таблица 6. Методы по улучшению профориентационной работы

Плюсы	Минусы
День открытых дверей	
Информативность и достоверность информации, преподносящиеся абитуриентам	Неудобное месторасположение информационного стола
Участие представителей факультета на мероприятии	Несоответствующий баннер
Небольшие презенты для абитуриентов	
Сайт факультета	
Обновление новостей факультета	Нет информации о проходных баллах по годам для поступающих абитуриентов
Профильная работа со школьниками	Не представлена информация об общежитиях
	Нет количества поданных заявлений
	Недостаточно полно представлена информация о работодателях и о прохождении практики
	Нет информации о стипендии, расписании/сессии

Плюсы	Минусы
Сайт факультета	
	Нет информации о дне открытых дверей прошлых и будущих
	Публикации (с какими журналами сотрудничают и в каких можно публиковаться) только для факультета
Буклеты	
Небольшие и удобные буклеты	Листовки не цветные и не представлена информация о работодателях и где выпускники могут работать после окончания вуза

Проанализировав представленную информацию, предлагается несколько рекомендаций для проведения корректирующих действий для факультета. Предоставляя полную и достаточно точную информацию для абитуриентов, факультет «Управления качеством» будет иметь приоритетное преимущество по сравнению с другими факультетами и вузами, и будет конкурентоспособным [7].

Рекомендации для профориентационной работы:

- заранее выбрать удобное месторасположение и заранее быть на своем месте, также баннер должен соответствовать стандарту и иметь полную информацию о факультете;

- для удобства пользователя на сайте факультета должна быть ссылка на информацию для поступления, а именно статистику по годам – проходные баллы;

- на сайте факультета необходимо включить информацию об общежитии и выделяемых бюджетных мест;

- создать для абитуриентов ссылку отслеживания подачи заявления до поступления на факультете;

- на сайте факультета нужно дополнить информацией о расписаниях/сессиях и стипендии;
- наиболее нужную информацию для студентов необходимо дополнить публикациями (с кем вуз сотрудничает и где можно опубликовать статью);
- на буклетах необходимо дополнить информацию о работодателях и местах прохождения практики, также сделать его красочным.

Список литературы

1. *Шамонов, П. А.* Повышение конкурентоспособности высшего учебного заведения. – URL: <https://dis.ru/library/514/29129> (дата обращения: 9.04.2018).
2. *Гольцова, О. Б.* Методика оценки компетентности студентов с учетом требований рынка труда / О. Б. Гольцова, Е. В. Гольцова, М. В. Золотарева // Сб. науч. статей 2-й Междунар. молодежной науч. конф. / отв. ред. А. А. Горохов. – Курск, 2014. – Т. 3. – С. 336–342.
3. *Гольцова, Е. В.* Методика формирования и актуализации набора компетенций по требованию работодателей в информационной системе / Е. В. Гольцова, В. С. Клековкин, О. Б. Гольцова // Научное обозрение. – 2015. – № 20.–С. 426–428.
4. *Затонский, А. В.* Информационные технологии: разработка информационных моделей и систем. –Риор, 2014. – 344 с.
5. Официальный сайт федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 9.04.2018).
6. *Безусова, Т. А.* Методы профориентационной работы высшего учебного заведения / Т. А. Безусова, Л. Г. Шестакова. – URL: <https://novainfo.ru/article/8479> (дата обращения: 9.04.2018).
7. Национальный стандарт Российской Федерации системы менеджмента качества ГОСТ ИСО 9001–2015 [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200124394> (дата обращения: 9.04.2018).

П. А. Тучкова, студентка, e-mail: tuchkova.polina@yandex.ru

А. А. Данилова, ст. преподаватель, e-mail: aa_danilova@mail.ru

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Биоиндикация с помощью растений

В данной статье описывается методика использования растений в качестве индикаторов окружающей среды. Рассмотрены отличительные особенности растений как биоиндикаторов, а также их преимущества и недостатки при применении в отдельных средах. Определена роль биоиндикации в экологическом мониторинге.

Ключевые слова: биоиндикация, биоиндикатор, растения, экология, окружающая среда.

На протяжении многих лет мы слышим и говорим о том, что состояние окружающей среды постоянно ухудшается. Тема глобального потепления и кислотных дождей фигурирует в большинстве научных журналов и учебников. В связи со складывающейся драматической ситуацией появляется множество различных инноваций, направленных на сохранение окружающей среды. Однако все это будет, возможно, осуществлено в перспективе, а у людей уже сейчас есть необходимость в определении показателей качества окружающей среды. Не обладая данной информацией, человек подвергает свою жизнь и здоровье опасности.

Для проведения экологической диагностики состояния окружающей среды необходимо использовать индикаторы. Индикаторы позволяют производить количественную оценку экологических параметров, которая является основой для дальнейшего анализа и предотвращения будущих неблагоприятных послед-

ствий деятельности людей. Проведение анализа сложившейся экологической ситуации на определенной территории важно еще и с той точки зрения, что это позволяет разработать стратегию охраны окружающей среды, а также выбрать методы для ее осуществления.

Существует огромное количество индикаторов окружающей среды. Помимо различных физико-химических методов широко используются так называемые биоиндикаторы. Биоиндикация – оценка состояния окружающей среды с помощью живых организмов (от клеток до экосистем).

Данный вид индикации имеет ряд преимуществ [1, с. 12]:

- способность давать оценку влияния какого-либо вещества на целый организм;
- высокая оперативность;
- способность выявлять загрязнения, которые не всегда удается обнаружить химическими методами;
- позволяет идентифицировать и определить местоположение источника загрязнения.

Однако биоиндикация не лишена недостатков [1, с. 10]. Например, отсутствие нормативной и организационной базы как таковой, трудоемкость анализа результатов и хранения самих живых индикаторов.

Биоиндикация основывается на том факте, что любой живой организм может существовать при определенном комплексе условий, которые выражаются в требованиях, предъявляемых организмом среде. Реакция организма на тот или иной фактор обусловлена его приспособленностью к величине этого фактора. Приспособленность организма, как представителя вида или популяции, заложена генетически. Организм реагирует на неблагоприятные условия изменением своего состояния, что и позволяет установить некие отклонения от нормы.

В качестве биоиндикаторов могут выступать бактерии, грибы, растения, животные и т. д. В зависимости от цели исследования могут использоваться те или иные представители перечисленных выше царств.

Отличительной особенностью растений как биоиндикаторов является их высокая восприимчивость к загрязнению окружающей среды, особенно в отношении газов, и тяжелых металлов. Так как средой обитания растений является почва, они могут использоваться в качестве эффективных индикаторов состояния почвы: кислотности, наличия химических элементов, содержания воды. Это является особенно важным в связи с тем, что растения являются неотъемлемым звеном цепи питания, способным накапливать и передавать далее по цепи вредные и опасные вещества.

Одним из используемых в биоиндикации морфологическим изменением растений является изменение окраски. В зависимости может наблюдаться изменение окраски листьев или цветов.

Листья становятся бледными между прожилками при наличии в почве тяжелых металлов или загрязнении атмосферы газами. Содержание хлоридов в почве приводит к пожелтению лиственных деревьев.

Особый интерес представляет изменение окраски цветочных растений [3]. Известное растение крупнолистная гортензия (лат. *Hydrangea macrophyll*) (рис. 1) имеет окраску, обусловленную не только сортом, но и рН почвы, на которой она произрастает, а также содержанием алюминия. Способность данного растения изменять окраску в зависимости от рН почвы (рис. 2) используется садоводами. Чтобы добиться желаемой расцветки, они поливают гортензию различными растворами. Например, за голубой цвет отвечает наличие в почве алюминия, поэтому для достижения этого цвета нужно поливать растение раствором сульфата алюминия. Фиолетовые лепестки имеет гортензия, растущая на торфяной почве с рН 5,5–6,0. Добиться этого цвета можно использованием полива почвы с нейтральным рН раствором железного купороса. Изменение окраски лепестков обусловлено чувствительностью особых пигментов: антоцианов.



Рис. 1. Крупнолистная гортензия



Рис. 2. Шкала кислотности почвы

Эстетическая сторона изменения окраски не является основной. Данная реакция активно используется на практике. Некоторые растения помогают геологам находить месторождения металлов [3]. Эти растения меняют свою обычную окраску преимущественно на белый, если в почве залегает тот или иной металл. Таким образом, например, реагирует прострел на никель, колючелист – на серу, иван-чай – на уран.

Эффективность использования растений в качестве индикатора загрязнения атмосферы объясняется тем, что они в этом случае поражаются сильнее других организмов, и воздействия носят более очевидный характер. Действие газов на растения определяется видом газа, длительностью воздействия и стадией развития растения.

При воздействии вредных веществ в первую очередь начинают происходить изменения и нарушения в хлоропластах, а впоследствии погибают клетки.

В качестве биоиндикационных признаков используют множество различных признаков [2], которые носят тот или иной характер. К ним относятся разрушение пигментов, изменение размеров, минерального обмена, снижение продуктивности и др. Одним из способов определения степени газодымового загрязнения является подсчет среднего числа иголок на ветках хвои. Норма жизни хвоинок четыре года, поэтому если четырехлетние побеги покрыты не полностью, а лишь на концах ветвей, это свидетельствует о загрязнении.

Таким образом, биоиндикация является неотъемлемой частью экологического мониторинга. Использование растений в качестве биоиндикаторов является полностью оправданным. Растения особенно эффективно работают как индикаторы состояния почвы и атмосферы. Особенности данного царства позволяют использовать их не только как индикаторы состояния окружающей среды, но и как «маячки», позволяющие определить состав или вид среды и обнаружить химические элементы, в отношении которых ведутся разведочные работы. Являясь целостным организмом, растение позволяет определять степень воздействия вредных веществ на живую систему, каковой является и человек.

Список литературы

1. *Ляшенко, О. А.* Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды : учеб. пособие. – СПб., 2012. – 67 с.
2. Биоиндикация, ее уровни [Электронный ресурс]. – URL: <http://biofile.ru/bio/22458.html>.
3. Гортензия переменчивая [Электронный ресурс]. – URL: http://elementy.ru/problems/1599/Gortenziya_peremenchivaya.

К. Ф. Фазлиахметов, студент, email: vip.fazliahmetov@yandex.ru

Д. А. Хворенков, ст. преподаватель, e-mail: tguug@istu.ru

О. И. Варфоломеева, канд. техн. наук, доц., e-mail: tguug@istu.ru

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Сравнительная оценка способов утилизации теплоты уходящих газов на объектах теплоэнергетики

В работе представлены результаты исследования температурно-влажностного режима цилиндрической железобетонной сборной дымовой трубы котельной с учетом различных существующих систем глубокой утилизации теплоты уходящих газов, которые, в свою очередь, содержат большое количество водяных паров и обладают значительным потенциалом для утилизации тепла. Было исследовано влияние параметров газа, коэффициента осушения, разницы влагосодержания продуктов сгорания и глубины утилизации теплоты дымовых газов на повышение коэффициента использования заданного топлива и относительное увеличение мощности котельных установок при сохранении сухого температурно-влажностного режима в стенке железобетонной дымовой трубы для сохранения надежной и долговечной работы всей системы дымоудаления.

Ключевые слова: утилизация теплоты, дымовая труба, конденсатообразование, пароперенос, диффузия, осушение.

Утилизация тепла уходящих газов является одним из основных способов повышения эффективности энергетических котлов ТЭС. Одной из особенностей работы котельных на углеводородном топливе является повышенное содержание водяных паров в продуктах сгорания. При низких массовых скоростях дымовых газов в газоходах и дымовой трубе возникает конденсация водя-

ных паров, что приводит к увлажнению стенок, а в зимний период к промерзанию и образованию наледей. Такие явления резко снижают надежность и срок службы газоходов и дымовых труб, которые являются неотъемлемой частью комплекса оборудования котельных установок. Из-за опасности конденсации водяных паров приходится увеличивать температуру уходящих газов, что приводит к росту тепловых потерь котла с уходящими газами.

Снижение потерь с уходящими газами и, соответственно, повышение коэффициента использования топлива может быть достигнуто за счет глубокой утилизации теплоты продуктов сгорания. Глубокая утилизация тепла подразумевает снижение температуры дымовых газов ниже точки росы водяных паров с их последующей конденсацией. При этом утилизируется значительная часть скрытой теплоты конденсации, а конденсат после дополнительной обработки может быть использован для восполнения потерь воды в энергетическом цикле или теплосети. Осушение дымовых газов снижает точку росы остаточных водяных паров и предотвращает выпадение влаги в дымовой трубе, что приводит к снижению затрат на ее ремонт и продлению срока службы.

При выборе оптимальных с точки зрения снижения потерь с уходящими газами режимов работы котельной установки [1] и способа глубокой утилизации теплоты уходящих газов недостаточно обеспечить отсутствие конденсатообразования на внутренних поверхностях дымовых труб. Необходимо также учесть диффузионные процессы в стенках железобетонных и кирпичных дымовых труб.

Задачей работы является определение минимальных температур продуктов сгорания на входе в дымовую трубу, при которых реализуется сухой температурно-влажностный режим, в зависимости от выбранного способа глубокой утилизации тепла продуктов сгорания. Нахождение оптимальной системы глубокой утилизации теплоты в котельной, которая приведет к сохранению надежности систем дымоудаления, увеличению коэффициента использования заданного топлива и относительной мощности котельной.

Исследование проводилось для цилиндрической железобетонной дымовой трубы высотой $h = 30$ м и внутренним диаметром $D = 1,2$ м по типовому проекту [2]. Параметры наружного воздуха приняты по [3] для г. Ижевска. В расчете температура наружного воздуха принята равной средней температуре наиболее холодного месяца $t_n = -13,4$ °С. Скорость продуктов сгорания w на входе в дымовую трубу приняла значение 7 м/с. Используемым топливом являлся природный газ. Рассматриваемыми системами глубокой утилизации теплоты дымовых газов являлись установка Беспалова [4], система Эфимова – Гончаренко [5], а также установка компании «RIGAS SILTUMS» [6], в которых используется эффективный метод поочередного охлаждения и осушения уходящих газов перед подачей в дымовую трубу.

Методика проведения расчетов проводилась в 6 этапов:

Этап 1. Состав природного газа соответствовал сетевому газу г. Ижевска. Расчет объемов продуктов сгорания, отводимых в атмосферу через дымовую трубу, проводился по формулам для полного сгорания топлива с коэффициентом избытка воздуха $1,05$ для газа.

Этап 2. Значения параметров продуктов сгорания, рассчитываемого состава топлива от температуры в характерном для исследуемого элемента диапазоне температур принимались по таблицам [7], в частности начальное влагосодержание уходящих газов, до входа в систему утилизации теплоты. Находим конечное влагосодержание дымовых газов $d(t_{con})$, выражая его из формулы для нахождения коэффициента осушения K_0 , которое равно $0,9$, $0,85$ и $0,8$ соответственно для установок Беспалова (рис. 1), Эфимова – Гончаренко (рис. 2) и компании «RIGAS SILTUMS» (рис. 3):

$$K_0 = \frac{D_k}{D_k^{\max}} = \frac{d_1 - d(t_{con})}{d_1 - d(t_0)},$$

где D_k – действительное количество сконденсированной влаги, кг/кг.с.г; D_k^{\max} – максимально возможное количество сконденсированной влаги, кг/кг.с.г; d_1 – начальное влагосодержание дымовых газов, кг/кг.с.г; $d(t_{con})$ – конечное влаго-

содержание дымовых газов при температуре процесса конденсации, кг/кг.с.г ;

$d(t_0)$ – влагосодержание дымовых газов при 0 °С, кг/кг.с.г.

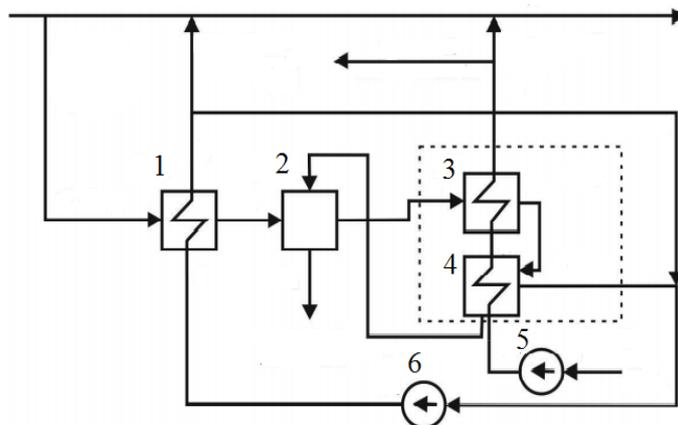


Рис.1. Структурная схема установки глубокой утилизации тепла дымовых газов Беспалова:

1-теплообменник, 2-водоподогреватель, 3-охлаждающий теплоутилизатор, 4-конденсирующий теплоутилизатор, 5-вентилятор, 6-дымосос

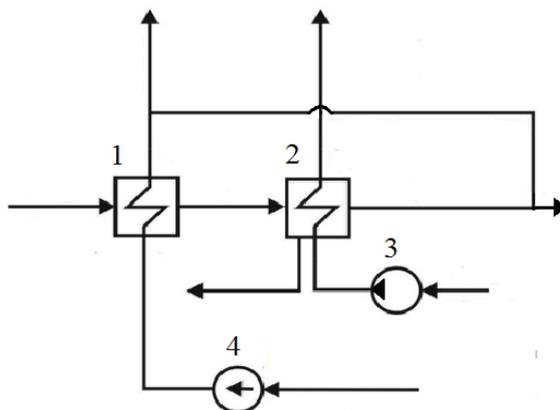


Рис.2. Структурная схема установки глубокой утилизации тепла дымовых газов Эфимова-Гончаренко:

1-теплообменник, 2-теплоутилизатор, 3-дренажный насос, 4-вентилятор

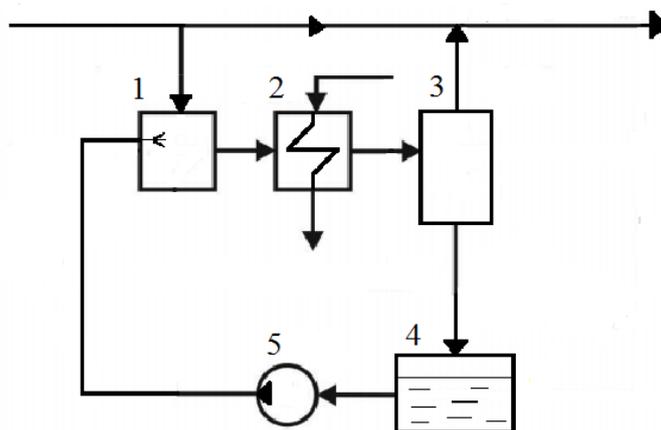


Рис.3. Структурная схема установки глубокой утилизации тепла дымовых газов компании "RIGAS SILTUMS":

1-теплообменник с форсунками, 2-водоподогреватель, 3-сепаратор, 4-бак конденсата, 5-насос

По расчетным значениям конечного влагосодержания дымовых газов находится их температура, соответственно, после осушения и охлаждения для каждой из взятых систем утилизации, от значений которых будет производиться дальнейший расчет температурно-влажностного режима дымовой трубы.

Этап 3. Проводится расчет с последующим анализом температурно-влажностных режимов на основе газодинамических и тепломассообменных процессов в рассматриваемых областях дымовой трубы по известному алгоритму в уже разработанной модели предыдущей моей работы [8].

В конечном итоге по вычисленному температурному полю определяется максимальная упругость водяного пара, сопротивление паропроницанию однослойной стенки, а также потери давления.

Этап 4. Определение наличия конденсатообразования в расчетной области исследуемого элемента проводится на основе анализа полученных полей температуры и давления в этапе 3 при рассчитанных в этапе 1 объемных долях водяных паров и паров серной кислоты в составе продуктов сгорания.

Удельное количество влаги, сконденсировавшейся в зоне возможного выпадения конденсата, определяется по формуле

$$\Delta g = g' - g'', \text{ мг/м}^2.$$

Этап 5. Определяется относительное повышение мощности котельной при утилизации тепла всего объема дымовых газов через нахождение полной полезной утилизируемой тепловой мощности при конденсации водяных паров из уравнения теплового баланса:

$$Q_k = \Delta Q_S + Q_W - Q_P, \text{ кВт.}$$

Теплота, получаемая за счет охлаждения сухих дымовых газов:

$$\Delta Q_S = G_S \cdot C_{p,S} \cdot (t_{1S} - t_0), \text{ кВт,}$$

где $C_{p,S}$ – теплоемкость сухих дымовых газов.

Теплота исходных водяных паров:

$$Q_W = G_W \cdot h_1'', \text{ кВт}$$

где h_1'' – энтальпия насыщенных водяных паров при температуре t_{1S} .

Теплота остаточных водяных паров в дымовых газах:

$$Q_P = G_P \cdot h_0'', \text{ кВт,}$$

где h_0'' – энтальпия насыщенных водяных паров при температуре t_0 ; G_P – равняется выражению $G_S \cdot d_0 \cdot 10^{-3}$ кг/с.

При составлении конечного балансового уравнения принято допущение, что отсутствует потеря тепла за счет повышенной температуры конденсата. Подставляем выражения для теплоты, получаемой за счет охлаждения сухих дымовых газов, теплоты исходных водяных паров и теплоты остаточных водяных паров в дымовых газах в выражение теплового баланса и получаем:

$$Q_k = G_S \cdot C_{p,S} \cdot (t_{1S} - t_0) + G_W \cdot h_1'' - G_S \cdot d_0 \cdot h_0'' \cdot 10^{-3}, \text{ кВт.}$$

Дополнительная тепловая мощность в отношении к номинальной мощности котельной находится по формуле

$$\eta_k = \frac{Q_k}{Q},$$

где Q – номинальная мощность котельной, кВт.

Этап 6. Методика расчета реализована в Pascal. Результаты расчета параметров уходящих газов на входе в дымовую трубу, при которых не происходит

конденсатообразования, и ориентировочное увеличение мощности котельной, в зависимости от выбранного способа глубокой утилизации тепла продуктов сгорания, приведены в таблице.

Расчетные параметры дымовых газов

Параметры уходящих газов	Установка Беспалова ($K_0=0,9$)	Установка Эфимова – Гончаренко ($K_0=0,85$)	Установка компании «RIGAS SILTUMS» ($K_0=0,8$)
Начальное влагосодержание дымовых газов, кг/кг.с.	0,192	0,192	0,192
Конечно влагосодержание дымовых газов, кг/кг.с.	0,019	0,027	0,037
Температура на входе в установку, °С	167	167	167
Температура на выходе из установки и на входе в дымовую трубу, °С	40	52	65
Ориентировочное увеличение мощности котельной за счет утилизации теплоты уходящих газов (в долях)	0,13	0,09	0,07

На основе полученных в разработанной математической модели результатов видно, что экономически обоснованное повышение энергоэффективности режимов работы котельной будет реализовано с использованием систем глубокой утилизации теплоты продуктов сгорания при полученных значениях минимальных температур на входе в дымовую трубу, при которых реализуется сухой температурно-влажностный режим в стенке, на которые непосредственно влияет рассматриваемый метод глубокой утилизации теплоты продуктов сгора-

ния. Важной характеристикой при глубокой утилизации тепла является коэффициент осушения, который у установки Беспалова больше, чем у установок Эфимова – Гончаренко и компании «RIGAS SILTUMS», это и объясняет меньшее значение минимальной температуры дымовых газов на входе в дымовую трубу и, следовательно, большую полезную мощность системы утилизации, что в конечном итоге увеличивает энергопроизводительность всей котельной.

Проведенный расчет показал, что глубокая утилизация теплоты уходящих газов необходима для повышения коэффициента полезного использования топлива и энергоэффективности теплогенерирующих установок, так как при утилизации значительная часть скрытой теплоты конденсации дымовых газов идет на подогрев воздуха или воды, в зависимости от выбранной системы, для собственных и отопительных нужд, а конденсат после дополнительной обработки может быть использован для восполнения потерь воды в энергетическом цикле или теплосети.

Список литературы

1. *Хворенков, Д. А.* Методика расчета температурно-влажностных режимов работы дымовых труб теплоэнергетических установок / Д. А. Хворенков, О. И. Варфоломеева // Промышленная энергетика. – 2013. – № 7. – С. 30–33.
2. Типовой проект 907-2-229. Труба дымовая железобетонная $h=30\text{м}$; $D_{\text{вн}}=1,2\text{м}$ с надземным примыканием газоходов для котельных установок.
3. СП 131.13330.2012. Строительная климатология: Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. – М. : Минрегион России, 2012.
4. *Беспалов, В. В.* Повышение эффективности глубокой утилизации тепла дымовых газов ТЭС на природном газе : дис. ... канд. техн. наук, 2017.
5. *Ефимов, А. В.* Система глубокой утилизации теплоты газов, уходящих из котельных агрегатов / А. В. Ефимов, А. Л. Гончаренко, Л. В. Гончаренко. – 2013.
6. *Жигурс, А.* Утилизация тепла дымовых газов на теплоисточниках города Риги / А. Жигурс, А. Церс. – Рига, 2010.
7. *Михеев, М. А.* Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – Изд. 2-е, стереотип. – М. : Энергия, 1977.

8. *Фазлиахметов, К. Ф.* Влияние параметров дымовых газов на температурно-влажностный режим стенок железобетонной дымовой трубы / К. Ф. Фазлиахметов, И. Ф. Фахразиев // сборник материалов XXIII Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов, Ижевск, 13 апреля 2017 г. : электронное научное издание / ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова». – Ижевск, 2017. – С. 173–179.

А. В. Шайбадуллина, аспирант, e-mail: arina-shaybadullina@mail.ru

Р. К. Глухов, студент

А. В. Тулегенова, студент

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Экранирующее декоративное фасадное покрытие

Разработана фасадная декоративная композиция, модифицированная микро- и нанодисперсными добавками с улучшенными физико-механическими характеристиками и способностью поглощать техногенное ЭМИ. Преимуществом разработанного покрытия является использование в качестве связующего жидкого натриевого стекла взамен калиевого, замена силикатизатора в виде оксида цинка на портландцемент.

Ключевые слова: жидкое натриевое стекло, портландцемент, силикатная краска, многослойные углеродные нанотрубки, экранирование.

Введение

В настоящее время рынок отделочных фасадных составов отечественного и зарубежного производства [1–3] в основном представлен монофункциональными покрытиями, выполняющими либо декоративную, либо защитную функцию от неблагоприятных внешних воздействий, таких как температура, влажность и техногенное электромагнитное излучение [4, 5].

В качестве фасадного многофункционального материала используется керамический лицевой кирпич, декорирование которого разнообразной цветовой палитры достигается с помощью объемного пигментного окрашивания, ангобирования и глазурирования [6–8]. Недостатком данных способов окрашивания является высокое требование к качеству исходного глинистого сырья, что

актуально для регионов, не обладающих необходимым количеством запасов сырья для производства кирпича разнообразной цветовой палитры, включая Удмуртскую Республику.

Таким образом, актуальной становится разработка многофункционального покрытия на основе недорогих компонентов при незначительных изменениях рецептурных составов, которых возможно получение декоративных, колеровочных и защитных покрытий, полученных модификацией основного базового состава.

Основная часть

В исследовании рассматривается разработанное фасадное декоративное покрытие, модифицированная микро- и нанодисперсными добавками. Для приготовления декоративно-фасадного покрытия в качестве основных сырьевых компонентов вяжущего использовались портландцемент и жидкое натриевое стекло. Для предотвращения мгновенного твердения системы вводился замедлитель в виде 15 % водного раствора фосфата натрия Na_3PO_4 . Для улучшения технологических и декоративных характеристик декоративного фасадного цементно-силикатного покрытия использовались наполнители и колеровочные пасты (рис. 1):

– в качестве структурирующей и фактурной добавки использовался тонкомолотый известняк со средним диаметром частиц 45 мкм в количестве 20 % от массы цемента и вспученный перлитовый песок в количестве 20 % от массы цемента;

– щелочестойкие пигменты (для колерования состава покрытия) в количестве 5 % от объема.

Для структурирования вяжущей матрицы и создания дополнительного эффекта экранирования фасадного силикатного покрытия использовалась дисперсия «FulVec-100» в количестве 0,001–7 % от массы цемента. Функциональная добавка «FulVec-100» со средним диаметром частиц 25 нм, производства ООО «Новый дом» (г. Ижевск).



Рис. 1. Блок-схема приготовления декоративного фасадного покрытия

В результате оптимизации цементно-силикатной композиции было установлено, что составы с тонкомолотым известняком показали неудовлетворительные характеристики по физико-техническим параметрам. Состав, модифицированный функциональной добавкой, рекомендован в качестве декоративно-фасадные покрытия, а состав с вспученным перлитовым песком – в качестве фактурного фасадного покрытия. Основные физико-технические показатели разработанного декоративно-фасадного силикатного покрытия: жизнеспособность на 100–110 мин, условная вязкость 30 с, расход краски на двухслойное покрытие 200–400 г/см², адгезия (метод решетчатых надрезов) 1 балл, паропроницаемость на 244–437 г/(м²·сут), морозостойкость 75 циклов [9].

Наряду с улучшением физико-технических характеристик используемая дисперсия «FulVec-100» обеспечивает поглощение техногенного электромаг-

нитного излучения за счет синергетического эффекта от совместного использования наполнителей и функциональной добавки.

Экранирующие свойства композиции исследовали с помощью измерительной установки с генератором излучения сверхвысокой частоты (СВЧ) на частотах 10 ГГц. Для определения экранирующей способности покрытия экран устанавливается между источником и приемником помех и снижает напряженность E_0 , действующего поля до значений E_1 за экраном [10]. Результирующий коэффициент экранирования, дБ, можно определить как

$$K_E = -20\lg(E_0/E_1). \quad (1)$$

Знак «минус» перед коэффициентом означает уменьшение мощности сигнала, прошедшего через ограждение.

По результатам измерений определили, что введение функциональной добавки «FulVec-100» в состав силикатного покрытия в количестве 7 % приводит к поглощению электромагнитного излучения на 42 % (рис. 2) по сравнению с контрольным образцом, одновременно структурируя цементно-силикатную вяжущую матрицу.

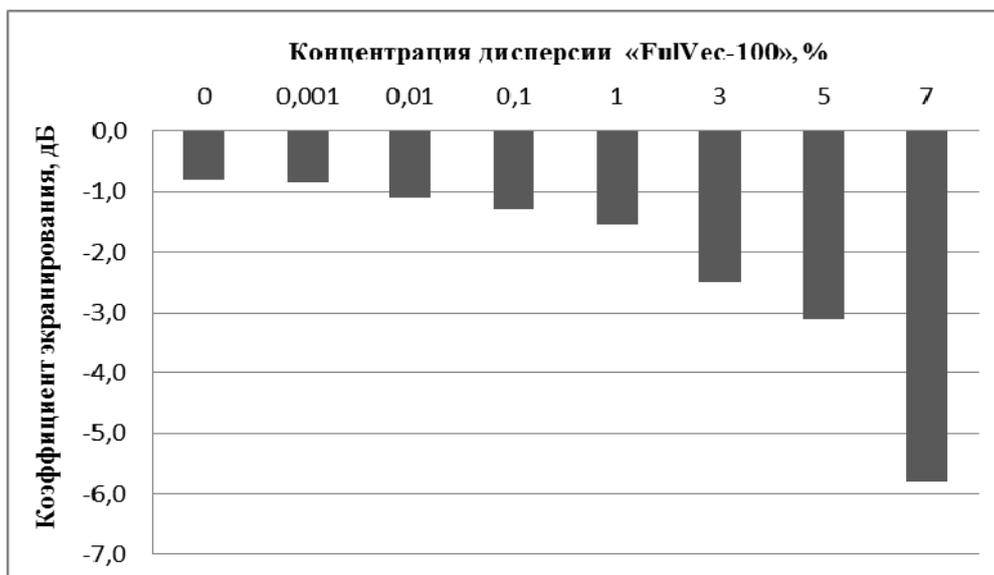


Рис. 2. Коэффициент экранирования декоративного покрытия в зависимости от концентрации дисперсии «FulVec-100»

Ориентировочный экономический эффект применения фасадного цементно-силикатного покрытия составил 47 %. Расчет производился для пигментированного цементно-силикатного покрытия модифицированного дисперсией «FulVec-100», нанесенного на керамическую кирпичную кладку в сравнении с готовым кирпичом с полимерным цветным покрытием заводского производства.

Заключение

Разработана фасадная цементно-силикатная композиция, при колеровании которой щелочестойкими пигментами возможно получение колеровочного покрытия; при модификации состава микродисперсными наполнителями (тонкомолотый известняк, вспученный перлитовый песок) возможно получение декоративных покрытий. Декоративное фасадное покрытие отличается технологичностью, повышенной жизнеспособностью и атмосферостойкостью. Используемая функциональная добавка «FulVec-100» позволяет улучшить технологические свойства покрытия, а также при введении в количестве 7 % способно поглощать техногенное электромагнитное излучение. Декоративное фасадное покрытие может быть использовано как для керамического, так и для силикатного кирпича в заводских условиях; для наружной отделки фасадов зданий при возведении, ремонте и реконструкции.

Работа выполнена в рамках Государственного задания по заказу Минобрнауки России (проект 16.7823.2017/7.8).

Список литературы

1. *Kleerekoper L., Dobbelsteen A., Ham E., Hordijk T., Martin C.* Creating drafts in urban settings through coloured façades: Exploring a new climate adaptation measure based on thermal stratification // *Urban Climate*. Vol. 14, 2015. PP. 290-300.
2. *Серебряков, А. И.* Защитно-декоративное полимерное покрытие стеновых материалов / А. И. Серебряков, А. Е. Абакумов, С. А. Лукьянчиков // *Строительные материалы*. –2006. – № 4. – С. 20–21.

3. *Swapan K. Ghosh, Gulzar Waghoo, Alakesh Kalita, Dinesh Balgude, K. Rajesh Kumar.* Chloride-free biodegradable organic acid hydrolyzed zinc silicate coating // *Progress in Organic Coatings*, vol. 73, 2012. Pp. 70-75.
4. СанПиН 2.1.2.2645-10 от 10.06.2010. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях.
5. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 от 30.06.2003. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов.
6. *Han L. X., Han J., Sun F. M., Huo Y. J.* The Distinctive Charm of Coating-Architecture in the Modern Urban Development // *Advanced Materials Research*, Vols. 160-162, 2011. PP. 880-885.
7. *Шаравин, Ю. А.* Лицевой керамический кирпич из пылеватых суглинков с декоративным порошковым полимерным покрытием : дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Шаравин Юрий Алексеевич. Новосибирск, 2012. 173 с.
8. *Семёнов, А. А.* О состоянии отечественного рынка керамических стеновых материалов // *Строительные материалы*. – 2016. – № 8. – С. 9–14.
9. Фасадное цементно-силикатное покрытие по керамическому кирпичу / А. В. Шайбадуллина, Г. И. Яковлев, В. П. Грахов, И. С. Полянских // *Интеллектуальные системы в производстве*. – 2017. – Т. 15, № 4. – С. 118–125.
10. *Шафигуллин, Р. И.* Экологическая безопасность городской среды под воздействием электромагнитных полей / Р. И. Шафигуллин, В. Н. Куприянов // *Известия КГАСУ*. – 2015. – № 1 (31). – С. 171–181.

Д. И. Ширяев, бакалавр, e-mail: shiryayevdmitry@gmail.com

С. Г. Шуклин, д-р хим. наук, проф.

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Анализ влияния наноалмазов на эксплуатационные характеристики керамических композиционных материалов

Главной целью данной работы является анализ свойств теплопроводности композиционных материалов керамики при добавлении в них инертного наноалмаза с дальнейшим рассмотрением в качестве замены текущим материалом, используемым при изготовлении деталей, задействованных в устройствах с высокими температурами.

Ключевые слова: карбид титана, наноалмазы, теплопроводность, износ, композиционные материалы, нанокерамика.

Введение

Одной из немаловажных проблем в промышленности является высокий износ деталей из-за нахождения их под воздействием высоких температур (выше 200 °С). Уже при таких температурах наблюдается значительное снижение основных показателей, характеризующихся прочностью свойства металлов и сплавов [1].

Для углеродистых сталей обыкновенного качества ползучесть начинается уже при температуре выше 375 °С [1]. А некоторые детали в различных устройствах, к примеру, в двигателе автомобиля, работают при температуре от 1000 до 1500 °С, что не дает возможности использовать обычные углеродистые стали, из-за чего требуются материалы с высокими показателями температуры

плавления. Так, к примеру, при производстве используется чугун, алюминиевый сплав, магниевый и другие [2].

Однако при использовании таких материалов происходит износ деталей, которые участвуют в работе устройства.

Одним из возможных вариантов снижения износа является замена на материалы с высокой теплопроводностью. Самым лучшим материалом для этой цели является керамика. Уже сейчас широко применяется керамика из оксида бериллия, отличающаяся высокой теплопроводностью, начинают использовать алюмонитридную керамику и поликристаллический алмаз [8]. Наряду с ними хотелось бы выделить керамический материал на основе карбида титана [6].

Карбид титана – это соединение углерода и металлического титана. Ударная вязкость данного материала составляет $9,5 \cdot 10^4$ кДж/м² [7], температура плавления 3260 ± 150 °С, а плотность составляет 4,93 г/см³. При этом он отличается особыми прочностными характеристиками (9 по шкале Мооса ~ 30 ГПа), жаропрочностью и стойкостью к действию некоторых кислот (серной и соляной) [10].

С ростом температуры теплопроводность карбид титана увеличивается и составляет при 1500 °С 30 Вт/мК, а при 2400 °С 40 Вт/мК.

Теплопроводность $TiC_{0,995}$ монотонно возрастает с увеличением температуры (рис. 1) [3].

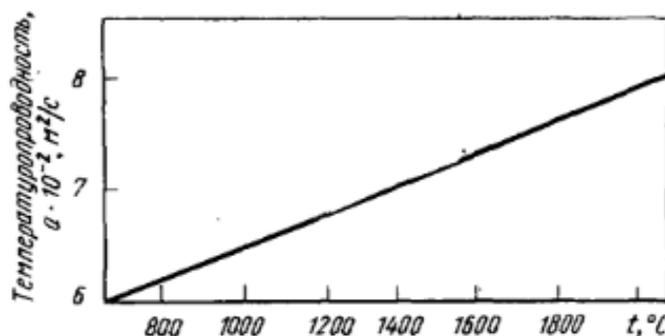


Рис. 1. Возрастание теплопроводности с увеличением температуры

Однако использование карбида титана в создании деталей для различных устройств является не совсем рациональным ввиду дороговизны (на данный момент (12.04.2018 г.) стоимость за 1 кг карбида титана варьируется в среднем 10–20\$), а также большим весом детали.

Выходом из данной ситуации является добавление в карбид титана частицы наноалмазов (НА).

Алмаз – аллотропная модификация углерода. Он состоит из атомов углерода в состоянии sp^3 -гибридизация. Твердость алмаза максимальна и составляет 10 по шкале Мооса [5].

Кристаллит наноалмаза состоит из алмазного ядра (размер 1–10 нм), в котором атомы углерода находятся в sp^3 -гибридном состоянии, покрытого оболочкой луковичного углерода, в котором атомы углерода находятся в sp^2 -гибридном состоянии [5].

Для обеспечения высокой стойкости композита карбида титана на основе ДНА (детонационного наноалмаза) необходимо получить малые размеры карбидных зерен. Одним из параметров, влияющих на характеристики СВС (самораспространяющегося высокотемпературного синтеза) и, соответственно, свойств и структуры композита, является содержание инерта в порошковой смеси [4].

В качестве сравнения свойств композита титана при изменении содержания инерта были взяты результаты эксперимента В. В. Фадиной, А. В. Колубаева и М. И. Алеутдиновой, опубликованные в статье под названием «Композиты на основе карбида титана, полученного методом технологического горения». В данной публикации использовалось соединение $Ti + C + Fe$.

На рис. 2, *а* видно, что при увеличении содержания железа размер зерна уменьшается. Одновременно уменьшается твердость и увеличивается предел прочности при изгибе (рис. 2, *б, в*). Пористость материала изменяется в пределах 2–6 %. На рис. 3, *а* видно, что пористость и размер зерна относительно высокие при низком (10 %) содержании инерта (железа) вследствие повышенного газовыделения во время СВС. Увеличение содержания инерта до 20 % ведет к

некоторому понижению пористости и размера зерна (рис. 3, б). При содержании 50 % железа в композите пористость несколько превышена ввиду реализации пониженной температуры горения (рис. 3, в).

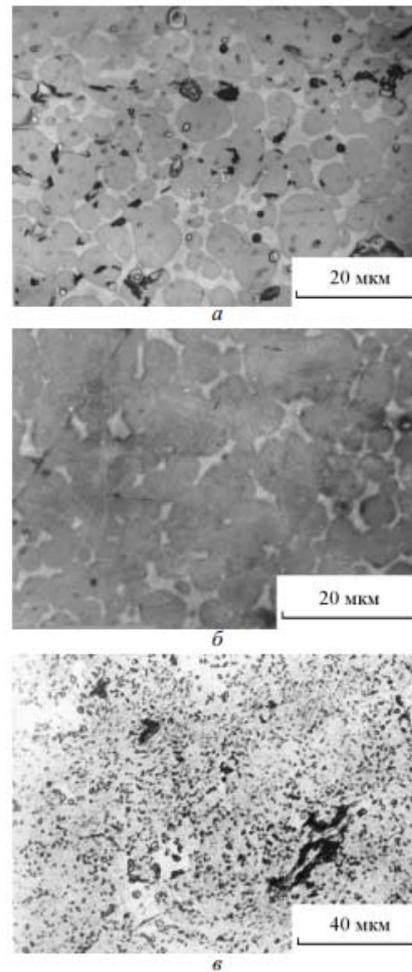
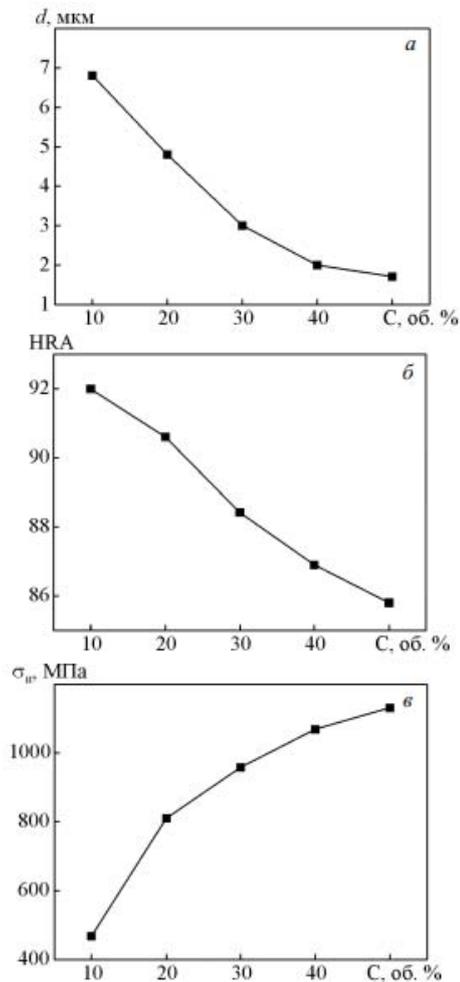


Рис. 2. Влияние содержания железа в экзотермической шихте

Рис. 3. Микроструктура композитов, имеющих фазовый состав: а – TiC + 10об.% Fe; б – TiC + 20 об.% Fe; в – TiC + 50 об.% Fe после прессования в волне горения

При дальнейшем увеличении содержания инерта приводит к низкой температуре горения, что вызывает неустойчивость реакции, и увеличивается пористость.

Представленные результаты позволяют предполагать, что методом технологического горения можно получать также композиции со сталями разных классов [4].

Однако предоставленные данные по исследованию, как упоминалось ранее, были сделаны с добавлением железа, что не приводит к повышению свойств теплопроводности карбида титана, и использовались в качестве анализа поведения композита при добавлении инерта.

В качестве анализа свойств теплопроводности керамического композита на основе карбида титана при добавлении ДНА далее используются экспериментальные данные С. Катаева, В. Сидорова, С. Гордеева, опубликованные в статье под названием «Алмаз-карбидный композиционный материал «скелетон» для теплоотводов в изделиях электронной техники», где был взят для эксперимента композит алмаз-карбид кремния.

Для получения алмазных КМ (композиционных материалов) изначально формировались заготовки из алмазных порошков, после этого проводилась термообработка заготовок и пропитка их жидким кремнием в вакуумной печи.

В первую очередь необходимо отметить, что при использовании алмаза в качестве исходного вещества следует учитывать его относительно низкую термическую устойчивость. При температуре выше 1200 °С происходит частичная графитизация алмаза, т. е. он превращается в более термодинамически стабильную графитоподобную структуру [9]. С дальнейшим увеличением температуры процесс графитизации алмаза становится более интенсивным. Последующая пропитка полученных заготовок кремнием приводила к преобразованию полученных графитоподобных углеродов в карбид кремния. Также было установлено, что с увеличением размера алмазных частиц плотность получаемых материалов уменьшается [8].

Ниже представлены характеристики КМ, полученные из порошков синтетических алмазов различной дисперсности.

Из табл. 1 следует, что существуют предельные значения степени превращения алмаза [8]. Это предельные значения зависят от пористости материала.

Таблица 1. Характеристики КМ, полученных из порошков синтетических алмазов различной дисперсности

Марка исходного алмаза	Размер частиц, мкм	Содержание алмаза в заготовке, об. %	$P_{\text{КМ}}$, г/см ³	Состав, об. %			α°
				Алмаз	SiC	Si	
АСМ 5/3	3–5	51	3,36	32,6	67,0	0,4	0,36
АСМ 10/7	7–10	54	3,26	39,4	53,2	7,4	0,27
АСМ 14/10	10–14	54	3,22	41,6	45,3	13,2	0,23
АСМ 28/20	20–28	55	3,18	45,0	36,3	18,7	0,18
АСМ 40/28	28–40	54	3,13	46,0	29,0	25,0	0,15
АСМ 63*50	50–63	58	3,10	53,8	15,4	30,8	0,07

Так, при пористости 50 % заготовки теоретически допустимо участие в процессе образования 38 % алмаза, тогда как при 30 % возможно преобразование только 16 % алмаза (см. табл. 1) [8].

Получение материала с частичным химическим преобразованием поверхности алмазных зерен в карбидокремниевую матрицу, обусловливается эпитаксиальное сочетание кристаллических решеток и карбидокремниевой матрицы, как итог – очень слабое рассеяние фотонов на границе их раздела. Именно за счет этого и обеспечивается высокая теплопроводность материала (табл. 2) [8].

Таблица 2. Сравнительная теплопроводность материала «Скелетон» различного состава и меди

Образцы	Объемное содержание, об. %			λ , Вт/мК
	Алмаз	Карбид кремния	Кремний	
«Скелетон» №1	55	36	9	330
«Скелетон» №2	66	25	10	470
«Скелетон» №3	75	15	10	650
Медь	–			390

Вывод

По итогу сравнительного анализа можно утверждать, что поведение композита керамики на основе карбида титана при добавлении в них инерта детонационного наноалмаза может стать лучшей заменой обычным материалам, используемым при изготовлении деталей, за счет улучшенной теплопроводности, что ведет за собой уменьшение износа компонентов, используемых в устройствах.

Список литературы

1. *Смирнов, Г. Г.* Конструирование безопасных аппаратов для химических и нефтехимических производств / Г. Г. Смирнов, А. Р. Толчинский, Т. Ф. Кондратьева ; под ред. А. Р. Толчинского. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 303 с.
2. Блок цилиндров [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Блок_цилиндров (дата обращения: 09.04.2018).
3. *Кипарисов, С. С.* Карбид титана / С. С. Кипарисов, Ю. В. Левинский, А. П. Петров. – М. : Металлургия, 1987. – 218 с.
4. *Фадин, В. Ф.* Композиты на основе карбида титана, полученного методом технологического горения// Научный журнал «ResearchGate» – 2011. – URL: https://www.researchgate.net/publication/272171272_Titanium_carbide_composites_obtained_by_method_of_combustion_technology (дата обращения: 12.04.2018).
5. Наноалмазы // Википедия, свободная энциклопедия. – URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Наноалмаз> (дата обращения: 12.04.2018).
6. *Кикон, И. К.* Таблицы физических величин / ред. И. К. Кикон. – 1976. – 1008 с.
7. *Кипарисов, С. С.* Карбид титана. Получение, свойства, применения / С. С. Кипарисов, Ю. Ю. Левинский, А. П. Петров ; ред. С. С. Кипарисов. – М. : Металлургия, 1987. – 208 с.
8. *Катаев, С.* Алмаз-карбидный композиционный материал «скелетон» для теплоотводов [Электронный ресурс]. – URL: http://www.electronics.ru/files/article_pdf/2/article_2786_371.pdf. (дата обращения: 13.04.2017).
9. *Поляков, В. П.* Алмазы и сверхтвердые материалы / В. П. Поляков, А. В. Ножкина, Н. В. Чириков. – М., 1990. – 325.
10. Карбид титана // Википедия, свободная энциклопедия. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Карбид_титана (дата обращения: 12.04.2018).

А. П. Шуравин, аспирант, webmaster@easyprog.ru

С. В. Вологдин, д-р техн. наук, доц., vologdin_sv@mail.ru

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Проект «Умный город». Применение эвристических алгоритмов для оптимизации термогидравлических режимов зданий

В РФ производится около 1650 млрд Гкал тепловой энергии в год, обеспечивая нужды примерно 75 % потребителей. При этом энергоэффективность центральных систем теплоснабжения находится на низком уровне [1]. Цель данной научной работы – разработка алгоритмов оптимизации энергопотребления тепловыми сетями за счет применения методов искусственного интеллекта, таких как эвристические алгоритмы.

Ключевые слова: генетически алгоритм, искусственный интеллект, методы оптимизации, энергоэффективность.

В XXI веке состояние городской среды не определяется лишь наличием инфраструктуры, то есть материальными ресурсами. Городу необходимы интеллектуальные решения, которые обеспечивают качественно новое развитие. В последнее время активно набирает обороты движение «Умный город», целью которого является обеспечение современного качества жизни за счет применения инновационных технологий, которые предусматривают экономичное и экологичное использование городских систем жизнедеятельности [2]. Одним из приоритетных направлений исследования в области энергосбережения можно назвать решение задач оптимизации термогидравлических режимов зданий, в частности, уменьшение энергопотребления и энергопотерь и устранение температурного дисбаланса [1, 3].

Оптимизационные задачи термогидравлических режимов зданий

В настоящее время в системах централизованного отопления актуальны следующие оптимизационные задачи [1, 4, 5]:

– оптимизация тепловых потоков между абонентами, которая направлена на устранение дисбаланса между абонентами потребления тепловой энергии, который выражается в наличии «теплых» и «холодных» домов;

– оптимизация гидравлических сопротивлений терморегуляторов зданий. Помимо дисбаланса в теплоотопительной системе, аналогичная проблема существует и внутри отдельных зданий. Разбалансировка выражается в наличии «теплых» и «холодных» помещений внутри конкретного здания. Данный дисбаланс можно устранить путем регулировки сопротивлений гидравлических регуляторов;

– минимизация трудоемкости на обеспечение распределительных теплосетей, которая состоит из работ по управлению сетью и ремонтных работы. В данной задаче оптимизация сводится к минимизации рисков возникновения аварийных ситуаций и количества мест приложения управления;

– динамическая задача оптимизации. Данный тип оптимизационных задач имеет место в тех случаях, когда меняется тепловая нагрузка одного или нескольких абонентов. В качестве функции минимизации могут быть, например, потери давления на дросселях и расход воды в теплотрассе.

Методы решения оптимизационных задач термогидравлических режимов зданий

Для начала стоит заметить, что решение оптимизационных задач в системах центрального отопления сводится к термогидравлическим расчетам разветвленной сети теплоснабжения, а также к решению систем уравнений теплового баланса, которые являются нелинейными [1]:

$$\begin{cases} Ax = q_{\partial}, \\ By = 0, \\ y + h_{\partial} = SXx, \end{cases} \quad (1)$$

где A – матрица соединений узлов и ветвей; B – матрица контуров, построенная на исходном графе; x и y – векторы неизвестных; S – матрица гидравлических сопротивлений; X – матрица расходов; h_0 – вектор гидравлических напоров; q_0 – вектор расходов теплоносителя в узлах.

Таким образом, целевая функция в данных оптимизационных задачах также является нелинейной. Она представляет собой минимум среднеквадратического отклонения температуры в отапливаемых помещениях:

$$\Phi(s_1, s_2, \dots, s_z) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i(s_1, s_2, \dots, s_z) - \bar{t})^2} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где z – количество регулировочных клапанов; i – номер помещения; N – количество помещений; t_i – расчетная температура в помещении; \bar{t} – средняя либо нормативная температура в зависимости от варианта целевой функции, s_j – сопротивление j -го клапана.

В связи с тем что регулировочные клапаны имеют свой диапазон значений сопротивлений, то вводится ограничение:

$$s_j^{\min} \leq s_j \leq s_j^{\max}, \quad (3)$$

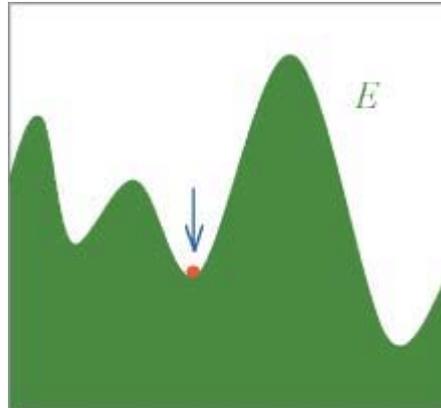
где s_j^{\min} и s_j^{\max} – минимальное и максимальное сопротивление соответственно.

Поскольку не существует общих аналитических методов решения систем нелинейных уравнений, то оптимизационные задачи решаются итерационными методами. В настоящее время существуют два класса итерационных методов для решения подобных задач:

- градиентные методы;
- стохастические методы.

К первым относится, например, метод покоординатного поиска, метод обратного распространения ошибки (используется для обучения нейронной сети) и другие. К стохастическим методам относятся генетические алгоритмы, метод имитации отжига, различные бионические алгоритмы, например муравьиная оптимизация, оптимизация «рой пчел» и другие.

Градиентные и стохастические имеют противоречивые достоинства и недостатки. В частности, градиентные методы часто не обеспечивают достижение глобального экстремума, «застревая» в локальном (рисунок).



Градиентный метод не обеспечивает достижение локального минимума

Эта проблема решена в стохастических алгоритмах, в которых за счет элементов случайности исследуется больше локальных экстремумов, что значительно повышает вероятность достижения глобального экстремума. С другой стороны, стохастические методы имеют, как правило, на несколько порядков большую вычислительную сложность и работают значительно медленнее [6, 7].

Цель и результаты

Исходя из вышесказанного целью данной научной работы является объединение градиентных и стохастических методов для устранения недостатков тех и других путем использования сильных сторон объединяемых методов, а также применения других эвристик, например нейронных сетей.

Была проведена экспериментальная проверка алгоритма покоординатного поиска и генетического алгоритма для оптимизации температурного дисбаланса отапливаемых помещений здания. Рассчитывалось типовое здание при средних расчетных условиях г. Ижевска для фактического состояния ограждающих конструкций и отопительных приборов помещений.

Были сделаны следующие проверки:

– оптимизация гидравлических сопротивлений клапанов ветвей для целевой функции «среднеквадратическое отклонение от средней температуры»;

– оптимизация гидравлических сопротивлений клапанов стояков для целевой функции «среднеквадратическое отклонение от нормативной температуры».

При оптимизации удалось снизить:

– значение целевой функции относительно нормативной температуры для генетического алгоритма на 34 % и для метода покоординатного поиска на 31 %;

– значение целевой функции относительно средней температуры для генетического алгоритма на 11 %, для метода координатного поиска снизить не удалось.

Экономическая эффективность

Экономическая эффективность рассчитана исходя из следующих факторов:

– за счет оптимизации энергопотребление снижается минимум на 5 % [1];

– отопление одного МКД на 100 квартир в год обходится приблизительно 1200 тыс. руб. в год (примерно 1 тыс. руб. в месяц на 1 квартиру);

– таким образом, экономия получается 60 тыс. руб. в год на 1 МКД;

– средняя стоимость балансировочного клапана радиатора 550 руб., 100 квартир в МКД и 3 клапана на каждую квартиру и стоимости монтажных работ 50 % от стоимости клапанов [8].

Таким образом, срок окупаемости для домов, в котором еще не установлены балансировочные клапаны, составляет приблизительно 3 года для домов, в которых установлены радиаторные клапаны, срок окупаемости отсутствует, экономия начинается сразу же после оптимизации.

В приведенном исследовании оптимизация проводилась путем регулирования балансировочных клапанов стояков. Это обеспечивает несколько меньшую экономию, по предварительным расчетам, примерно в два раза (2,5 %). С другой стороны, установка клапанов на стояки дешевле, так как стояков меньше, чем радиаторов отопления в квартирах. В этом случае срок окупаемости примерно 2 года.

Замечу, что есть еще скрытый экономический эффект – за счет установления более комфортных условий люди испытывают меньше стресса, значит, меньше болеют. Но этот эффект оценить невозможно.

Другие области применения.

Замечу, что эвристические алгоритмы, включая методы оптимизации и нейронные сети, применяются для решения широкого спектра задач в различных областях человеческой деятельности [9–12]:

- складская логистика;
- составление расписаний;
- прогнозирование в экономических задачах;
- оптимизация транспортных потоков («Умные дороги»);
- компьютерное зрение (распознавание образов);
- робототехника.

Список литературы

1. Методы и алгоритмы повышения энергоэффективности многоуровневой системы централизованного теплоснабжения: монография // С. В. Вологдин, Б. Я. Якимович – Ижевск, Издательство ИЖГТУ имени М. Т. Калашникова – 2015. – 264 с.
2. Умный город. [Электронный ресурс]. – URL: <http://city-smart.ru> (дата обращения: 07.04.2018).
3. *Вологдин, С. В.* Математическая модель оптимизации тепловых потоков между зданиями в многоконтурной тепловой сети с целью снижения дисбаланса системы теплоснабжения за счет регулирования сопл элеваторных узлов // В мире научных открытий. – 2011. – № 12. – С. 194–204.
4. *Новицкий, Н. Н.* Исследование задач и методов многокритериальной оптимизации гидравлических режимов распределительных тепловых сетей / Н. Н. Новицкий, А. В. Луценко // Научный вестник НГТУ (Science Bulletin of the NSTU). – 2016. – Т. 64, № 3. – С. 131–145.
5. *Майков, И. Л.* Методы теплогидравлической оптимизации и управления тепловыми сетями / И. Л. Майков, Л. Б. Директор, В. М. Зайченко // Управление боль-

шими системами / Учреждение Российской академии наук «Объединенный институт высоких температур». – 2011. – Вып. 32. – С. 205–220.

6. *Коробейников, А. В.* Программирование нейронных сетей : учебно-методическое пособие по дисциплинам «Методы оптимизации. Нейронные сети», «Нейрокомпьютерные системы» и «Нечеткая логика и генетические алгоритмы». – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2013. – 44 с.

7. *Шуравин, А. П.* Фильтрация входных данных нейронной сети с применением технологии цифровой обработки сигналов / А. П. Шуравин, С. В. Вологдин // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. – 2017. – Т. 20. № 4. – С. 104–109.

8. Цена на радиаторные клапаны [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.udmsnab.ru/cat/heating.html> (дата обращения: 23.04.2018).

9. РБК. Гадание на нейронах: как StocksNeural предсказывает цены на акции. [Электронный ресурс]. – URL <https://www.rbc.ru/money/19/08/2016/57b59b3c9a794778e539db8a> (дата обращения: 07.04.2018).

10. *Ломакин, Н. И.* Применение нейронных сетей для оценки кредитоспособности физических лиц / Н. И. Ломакин, М. В. Лысова // Гуманитарные научные исследования. – 2014. – № 7 [Электронный ресурс]. – URL: <http://human.snauka.ru/2014/07/7297> (дата обращения: 07.04.2018).

11. *Цельсов, Н. Ю.* Нейронные сети как метод оценки кредитоспособности заемщика / Н. Ю. Цельсов, Т. И. Кузнецова // Молодежный научно-технический вестник. Август 2015 № 08 [Электронный ресурс]. – URL: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/799826.html> (дата обращения: 07.04.2018).

12. *Лапыгин, Ю. Н.* Экономическое прогнозирование : учеб. пособие / Ю. Н. Лапыгин, В. Е. Крылов, А. П. Чернявский. – М. : Эксмо, 2009. – 256 с. – (Высшее экономическое образование).

Д. А. Ялалова, студентка, e-mail: yalalova.diana@mail.ru

ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Экспертная система для отбора кандидатов по результатам собеседования

Данная экспертная система может сопоставить результаты собеседования с заранее определенными требованиями, предъявляемыми к волонтеру мероприятия на определенной позиции. Используя метод анализа иерархий, система берет в расчет несколько критериев и с учетом веса каждого из них определяет для кандидата лучшую позицию по итогам анализа. Таким образом, отбор станет намного справедливее и прозрачнее. Внедрение такой системы сократит время, которое рекрутер затрачивает на собеседование одного человека, что значительно повысит производительность и как любой процесс автоматизации исключит ошибки, связанные с человеческим фактором.

Ключевые слова: собеседование, метод анализа иерархий, волонтер, рекрутер, отбор, кандидат.

Введение

Мы живем в 21-м веке, в то самое время, когда практически не осталось ни одной сферы человеческой деятельности, которая не была бы автоматизирована хотя бы отчасти. Почти все предприятия уже давно начали эффективно применять автоматизированные системы в своей работе. На рынке появляются системы для автоматизации любой степени, любого рода предприятий. При ручной обработке большого количества информации, возможно возникновение всевозможных ошибок, обусловленных человеческим фактором. В связи с этим в последнее время зачастую используются такие системы, которые не только облегчают или частично берут на себя работу работников, но и полностью за-

меняют их. Люди стали более умны и более ленивы, все стараются избавиться от повседневных, рутинных действий, выполнение которых занимает много рабочего времени.

Так казалось ровно до того момента, когда пришлось столкнуться с интересной, но в то же время сложной задачей – провести собеседования порядка 3000 кандидатов в волонтеры Всемирного фестиваля молодежи и студентов – 2017, который проходил в городе Сочи. Оказалось, что данный этап отбора абсолютно никак не автоматизирован, процесс проходит в «ручном режиме», начиная от анкет, которые заполняет рекрутер непосредственно в процессе собеседования, заканчивая постобработкой результатов и подведения итогов. Под постобработкой понимается также сканирование заполненных анкет для отправки всех данных главным организаторам рекрутинговой кампании. Таким образом, на работу с одним кандидатом у рекрутера уходило порядка 1 часа с учетом того, что само собеседование зачастую длилось не более 20 минут. Ниже на рис. 1 для наглядности представлена диаграмма временных затрат, где видно, что большую часть времени занимает именно цифровизация данных.



Рис. 1. Диаграмма временных затрат

На данный момент существует система для первоначального отбора анкет (рис. 2). Кандидат заходит в автоматизированную информационную систему,

выбирает интересующее его мероприятие, и ему предлагается заполнить анкету. Далее система автоматически проводит проверку всех анкет на соответствие заданным требованиям, а именно оценивает полноту заполнения анкеты и наличия добавленных документов в портфолио. Формирует списки кандидатов, прошедших первичный отбор, которым рассылаются приглашения на собеседование. Дальнейший процесс отбора никаким образом не автоматизирован.



Рис. 2. Текущая система отбора

Идея автоматизации данного процесса возникла примерно в середине рекрутинговой кампании, когда стало очевидно, что существующая система отбора далека от идеальной и справедливой, а также порождает множество ошибок, связанных с человеческим фактором. В связи с этим начался первичный сбор информации о возможных путях решения данной проблемы, и наилучшим было признано создание компьютеризированной экспертной системы.

Основная часть

Данная система предназначена для автоматизации непосредственно самого процесса собеседования, то есть рекрутер вместо того, чтобы делать какие-либо записи на бумаге, будет вносить данные сразу в систему, чтобы в последующем не производить никаких дополнительных действий для цифровизации данных.

Сама экспертная система представляет собой программный продукт с интуитивно-понятным пользовательским интерфейсом, включающий в себя все необходимые элементы для оценки кандидата по заданным параметрам и личным оценкам самого рекрутера [1–5]. При внесении всех запрашиваемых данных система рассчитает потенциал данного кандидата, а также сравнит его показатели с заранее определенными требованиями, назначит ему самую подходящую позицию.

Итоговый показатель вычисляется по формуле

$$Y(x) = w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n,$$

где n – количество критериев, влияющих на значение потенциала; $w_i, x_i, i = \overline{1..n}$ – вес показателя и его нормированное значение. Нормированное

значение определяется как $x_i = \frac{x_{ij}}{\max_j x_{ij}}, j = \overline{1..m}$, где m – количество кандидатов

в выборке. Веса вычисляются по методу анализа иерархий.

Практическое применение данной системы возможно уже в этом году. В сентябре 2018 года стартует рекрутинговая кампания на 45-й международный чемпионат рабочих профессий WorldSkills 2019, для помощи в проведении которого необходимо отобрать порядка 2200 волонтеров из России и других стран мира. Очевидно, что процесс отбора будет более быстрым и прозрачным благодаря внедрению системы для помощи рекрутерам. Больше не будет необходимости после собеседования заниматься переводом полученных данных в электронный вид, так как система позволит фиксировать информацию в режиме реального времени, прямо в тот момент, когда проходит собеседование.

Процесс отбора кандидата разделяется на две части, первая – это результаты тестирования, которое определяет организатор, второе – личные впечатления рекрутера от беседы с кандидатом. Предварительно были отобраны важнейшие критерии и подкритерии оценки кандидата.

Два главных критерия, влияющих на итоговое значение, состоят из подкритериев, которые, в свою очередь, состоят еще из более уточненных подкритериев, их иерархия наглядно представлена на рис. 3.



Рис. 3. Критерии оценивания кандидата

Таким образом, система учитывает веса каждого конечного критерия, которые в сумме дают максимальное значение родительского критерия, с учетом того, что для каждой позиции волонтеру требуется определенное сочетание личностных качеств. Система учитывает это и дает возможность определения кандидата на конкретную роль, подходящую ему по итогам собеседования путем сравнения полученных в ходе собеседования данных с установленными значениями. А также имеется возможность отбора кандидатов сразу на определенную позицию, так как значение веса – величина динамическая и может быть установлена в соответствии с определенными требованиями, необходимыми для какой-либо конкретной функции.

Заключение

Очевидно, что с появлением данной системы рекрутинговая кампания сможет значительно сократить свои сроки, так как на обработку одного канди-

дата будет уходить меньше времени. Но еще одним немаловажным преимуществом внедрения такой системы станет исключение ошибок, связанных с человеческим фактором, а также справедливость и абсолютная прозрачность отбора для самого кандидата.

Создание данной системы практически оправдано, и уже сейчас можно с уверенностью сказать, что она будет незаменима в ситуациях отбора волонтеров на любые события. Например, в 2019 году Россия принимает у себя такие масштабные мероприятия, как WorldSkills 2019 в г. Казани и XXIX Всемирную зимнюю универсиаду 2019 года в г. Красноярске, которые точно никак не обойдутся без участия волонтеров, а значит, и процесса их отбора.

Список литературы

1. *Саати, Т. Л.* Об измерении неосязаемого. Подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений // *Cloud Of Science*. – 2015. – Т. 2. № 1. – С. 5–39.

2. *Благодатский, Г. А.* Создание математической модели анализа структуры аккредитационных показателей вуза с применением метода анализа иерархий / Г. А. Благодатский, М. М. Горохов, Д. И. Казанцев // *Вестник ИжГТУ*. – 2010. – № 2. – С. 115–118.

3. *Благодатский, Г. А.* Программно-инструментальные средства повышения эффективности внутренних бизнес-процессов предприятий : дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 2012. – 188 с.

4. *Благодатский, Г. А.* Программно-инструментальное средство оценки тренированности спортсменов высших квалификации / Г. А. Благодатский, М. М. Горохов, Е. С. Чухланцев // *Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова*. – 2016. – № 2 (70). – С. 87–90.

5. Информационно-аналитическая система мониторинга кардиологической помощи в пенитенциарных учреждениях России / С. Б. Пономарев, М. М. Горохов, К. А. Романов, Е. В. Дюжева, Г. А. Благодатский, Д. В. Баранова // *Врач и информационные технологии*. – 2016. – № 2. – С. 27–34.

Содержание

<i>Бакаева Е. А., Иванов Е. С., Ившин В. А.</i> Утилизация техногенных промышленных отходов при производстве строительных материалов	3
<i>Богдан О. П., Дудина Ю. С., Бабайлов Н. А., Широбокова А. Д.</i> Повышение достоверности оценки интенсивности ультразвукового излучения медицинского диагностического оборудования.....	7
<i>Буторина А. А., Варфаламеева С. В., Шуклин С. Г.</i> Анализ применения наноалмазов для нанесения покрытия гальваническим способом.....	12
<i>Галимьянов Р. Г., Тарасов С. И.</i> Разработка энергоблока на древесном генераторном газе.....	21
<i>Гуменюк А. Н., Шевченко Ф. Е., Жуков А. Н.</i> Универсальный состав для модификации строительных материалов на основе технической серы	25
<i>Домнина К. Л., Репко В. Н., Соломенников И. А.</i> Многофакторный подход к решению задач определения оптимальных параметров пористых материалов	30
<i>Загуменнов Д. В., Иванов А. А., Гордина А. Ф., Первушин Г. Н.</i> Композиционный материал на основе фторангидрита с техногенным модификатором	36
<i>Звонарев И. С., Караваев Ю. Л.</i> Управление многозвенным колесным мобильным роботом с применением искусственных нейронных сетей.....	42
<i>Зиновьева Е. В., Санду О. М.</i> Сувенир как средство продвижения бренда вуза на примере ИжГТУ имени М. Т. Калашникова	47
<i>Золотарев Н. А., Алиев Э. В.</i> Модель оценки и выбора альтернативных вариантов технологической реализации машиностроительного производства	51
<i>Иванов А. А., Загуменнов Д. В., Тютина Е. М., Гордина А. Ф., Полянских И. С.</i> Разработка состава фторангидритового вяжущего для устройства самонивелирующихся полов.....	55
<i>Ившина К. К.</i> Экологическая проблема вывоза снега в Ижевске	63
<i>Исаев А. В., Узаков Н. Д., Вершинина Н. А.</i> Сравнение тепловых потерь при мезофильном и термофильном анаэробном режиме сбраживания	67
<i>Исмаилов Р. М., Волкова Л. В.</i> Прибор для оценки упругих модулей металлоконструкций	72
<i>Караваев Ю. Л., Клековкин А. В., Шестаков В. А.</i> Разработка мобильного омниколесного робота с манипулятором.....	76
<i>Караваева М. В.</i> Система технического зрения для определения количественных характеристик дефектов стен зданий.....	80

<i>Касаткина Е. В., Логинова Ю. А., Шаймарданов М. Г.</i> Математическое моделирование и оптимизация дорожного движения	84
<i>Касимов Р. М., Пономарева А. О., Касаткина Е. В., Сабурова Е. А.</i> Модель роста социально-экономической системы региона с учетом демографической динамики	89
<i>Килина М. М., Шутков В. С., Касимов Р. З.</i> Разработка мобильного приложения для ведения учета и оплаты коммунальных услуг	95
<i>Килина О. Ю.</i> Анализ применения метода деформирующего резания при обрешении теплообменных труб прямоугольного сечения	99
<i>Нестеров А. Г.</i> Проект использования тепла подземной стоянки торгового центра	103
<i>Носачева А. В., Санду О. М.</i> Дизайн тактильной панели «Лес»	107
<i>Охильков И. Л.</i> Определение зависимости температуры и теплового потока в точке от общих теплопотерь теплотрассы	111
<i>Плотников И. В.</i> Функциональная модель камер орошения	118
<i>Погудин С. А., Сивцев Н. С., Бажин А. Г.</i> Фрезерование маложестких деталей с применением вспомогательных опорных модулей	123
<i>Пушкарев И. А., Пушкарева Т. А.</i> Проектирование и расчет планетарных передач с повышенной нагрузочной способностью и плавностью работы	131
<i>Русяк И. Г., Суфиянов В. Г., Королев С. А., Дозоров О. В., Киселев И. А., Трушкин И. А.</i> Визуальные технологии решения проектных баллистических задач	135
<i>Селезнев А. Н., Калюжный Д. Г., Бурнышев И. Н.</i> Лазерная система контроля материала нефтегазопровода	140
<i>Султанова В. М., Спиридонова А. А., Панченко А. В.</i> Исследование влияния микрокремнезема совместно с пластифицирующей добавкой и углеродными нанотрубками на свойства портландцемента	144
<i>Тарасов С. И., Галимьянов Р. Г.</i> Разработка программы расчета паросиловых установок с бинарным циклом	150
<i>Теплякова А. С., Загайнова А. А., Алиев Э. В.</i> ПОЛЬЗА-коин	154
<i>Тратканова К. С.</i> Разработка корректирующих действий для повышения конкурентоспособности учебного заведения	159
<i>Тучкова П. А., Данилова А. А.</i> Биоиндикация с помощью растений	169
<i>Фазлиахметов К. Ф., Хворенков Д. А., Варфоломеева О. И.</i> Сравнительная оценка способов утилизации теплоты уходящих газов на объектах теплоэнергетики	174

<i>Шайбадуллина А. В., Глухов Р. К., Тулегенова А. В.</i> Экранирующее декоративное фасадное покрытие	183
<i>Ширяев Д. И., Шуклин С. Г.</i> Анализ влияния наноалмазов на эксплуатационные характеристики керамических композиционных материалов.....	189
<i>Шуравин А. П., Вологдин С. В.</i> Проект «Умный город». Применение эвристических алгоритмов для оптимизации термогидравлических режимов зданий.....	196
<i>Ялалова Д. А.</i> Экспертная система для отбора кандидатов по результатам собеседования	203

Электронное научное издание

**«Выставка инноваций – 2018
(весенняя сессия)»**

Сборник материалов XXV Республиканской выставки-сессии
студенческих инновационных проектов

(Ижевск, 25 апреля 2018 г.)

Технический редактор *С. В. Звягинцова*

Корректор *М. А. Ложкина*

Верстка *Н. Ю. Боярской*

Разрешено к использованию 13.06.2018. Объем 4,4 Мб. Уч.-изд. л. 7,5. Заказ № 183

Издательство Ижевского государственного технического университета
имени М. Т. Калашникова. 426069, Ижевск, Студенческая, 7