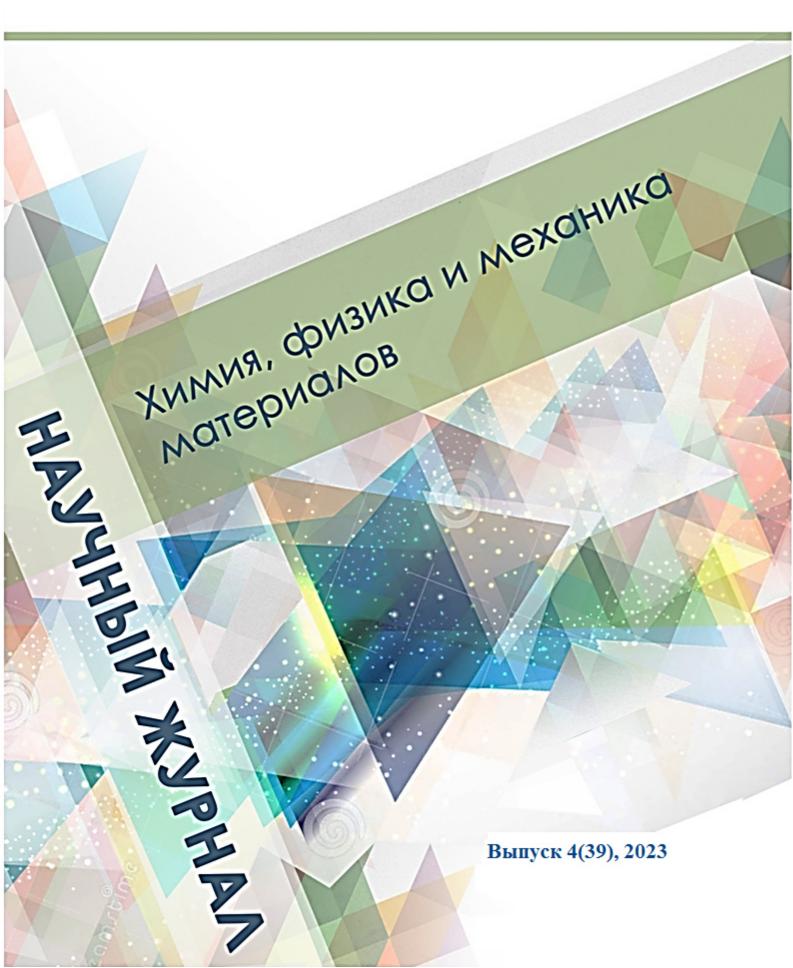
ISSN 2587-9006 (Print) ISSN 2949-3722 (Online)



Воронежский государственный технический университет



ISSN 2587-9006 (Print) ISSN 2949-3722 (Online)

ФГБОУ ВО «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ХИМИЯ, ФИЗИКА И МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

- ВЫДАЮЩИЕСЯ УЧЕНЫЕ ВГТУ
- МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
- ДИАГНОСТИКА МАТЕРИАЛОВ
- МЕХАНИКА
- ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
- ПЕРСОНАЛИИ

Выпуск № 4 (39), 2023

ISSN 2587-9006(Print) ISSN 2949-3722 (Online)

ХИМИЯ, ФИЗИКА И МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выходит 4 раза в год

Учредитель и издатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет»

Адрес учредителя и издателя: 394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 - 77347 от 05.12.2019).

Главный редактор – д-р хим. наук, проф. О.Б. Рудаков Зам. главного редактора – д-р техн. наук, проф. В.Т. Перцев Зам. главного редактора – д-р техн. наук, проф. В.А. Небольсин Ответственный секретарь – канд. техн. наук, доц. О.Б. Кукина

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, проф. О.В. Артамонова (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. Д.Е. Барабаш (г. Воронеж, ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»); д-р техн. наук, проф. Л.И. Бельчинская (г. Воронеж, ВГЛТУ); д-р физ.-мат. наук, проф. П.А. Головинский (г. Воронеж, ВГТУ); д-р хим. наук, проф. А.Ю. Завражнов (г. Воронеж, ВГУ); д-р хим. наук, проф. А.Н. Зяблов (г. Воронеж, ВГУ); д-р физ-мат. наук, проф., академик РАН В.М. Иевлев (г. Москва, МГУ); д-р хим. наук, проф. А.В. Калач (г. Воронеж, ВИ ФСИН); д-р физ.-мат. наук, проф. Ю.Е. Калинин (г. Воронеж, ВГТУ); д-р физ.мат. наук, проф. В.А. Козлов (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук Д.Н. Коротких (г. Москва, МГСУ); д-р геогр. наук, проф. С.А. Куролап (г. Воронеж, ВГУ); д-р техн. наук, проф. С.И. Лазарев (Тамбов, ТГТУ); д-р техн. наук, проф. Л.В. Моргун (г. Ростов-на-Дону, ДГТУ); д-р техн. наук, проф. С.Л. Подвальный (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. К.К. Полянский (г. Воронеж, ВФ РЭУ им. Г.В. Плеханова); д-р техн. наук, проф. Ю.В. Пухаренко (г. Санкт-Петербург, СПбГАСУ); д-р хим. наук, проф. А.М. Самойлов (г. Воронеж, ВГУ); д-р хим. наук, проф. В.Н. Семенов (г. Воронеж, ВГУ); д-р физ.-мат. наук, проф. О.В. Стогней (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. П.Т. Суханов (г. Воронеж, ВГУИТ); д-р техн. наук, проф. А.А. Трещев (г. Тула, ТулГУ); д-р техн. наук, проф. О.Л. Фиговский (Израиль, Глава Департамента по науке инновационного центра «Альянс народов мира», г. Хайфа); д-р техн. наук, доц. О.Н. Филимонова (г. Воронеж, ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»); д-р биол. наук, проф. Н.Н. Харченко (г. Воронеж, ВГЛТУ); д-р хим. наук, проф. Н.В. Шелехова (г. Москва, ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»); д-р техн. наук, проф. У.М. Турдиалиев (Республика Узбекистан, АндМИ).

В издании публикуются результаты научных исследований и производственного опыта сотрудников ВГТУ и других образовательных, научных, научно-производственных организаций по проблемам химии, физики и механики строительных и технических материалов; химической технологии и физико-химических методов диагностики, контроля качества и безопасности материалов, применяющихся в строительстве и технике; по техносферной безопасности.

Издание рекомендуется специалистам по промышленному и гражданскому строительству, материаловедам, технологам, инженерам, научным сотрудникам, преподавателям, аспирантам и студентам архитектурностроительных и технических учебных заведений.

Перепечатка материалов журнала допускается только с разрешения редакции.

Дизайн обложки Н.И. Мироненко

АДРЕС РЕДАКЦИИ

394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, ком. 6419

тел.: +7(473) 2369350, +7(473)2717617

E-mail: chemistry@vgasu.vrn.ru, lgkkn@rambler.ru

СОДЕРЖАНИЕ

выдающиеся ученые ві ту
Проскурин Д.К., Рудаков О.Б., Небольсин В.А., Перцев В.Т.
К юбилею профессора Подвального Семена Леонидовича
<i>МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ</i>
Усачев А.М., Приз О.Р.
Изучение основных свойств шпатлевочных отделочных материалов
Фиговский О.Л., Кукина О.Б., Брежнев А.В.
Неизоцианатные гибридные полиуретаны. Напольные покрытия на основе циклических
карбонатов: оптимальные составы и эксплуатационные свойства
Отченашенко А.И., Корнеева В.В., Торосян М.С.
Перспективы открытия новых материалов с помощью искусственного интеллекта 27
Черноусенко Г.И., Лихачева Д.В.
Эксплуатационные характеристики объектов и свойства поризованных бетонов
ДИАГНОСТИКА МАТЕРИАЛОВ
Шелехова Н.В., Рудаков О.Б., Полянский К.К., Перцев В.Т., Чогут А.Р.
Хроматографическое изучение химического состава фугата барды в поиске путей его
конверсии
МЕХАНИКА
Назаренко Н.Г., Борисова М.И., Макарычев К.В.
Исследование несущей способности монолитных железобетонных плит перекрытий,
выполненных с применением несъемной опалубки, в здании торгового комплекса
«Лента» в городе Воронеж
ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
Бахметьев К.А., Куприенко П.С., Ашихмина Т.В., Букша С.Н.
Почему и как необходимо бороться со строительными отходами90
ПЕРСОНАЛИИ
Рудаков О.Б., Селеменев В.Ф., Елисеева Т.В., Долгоносов А.М., Хамизов Р.Х.
Памяти профессора Владимира Алексеевича Шапошника

ВЫДАЮЩИЕСЯ УЧЕНЫЕ ВГТУ





Доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированных и вычислительных систем ВГТУ, заслуженный изобретатель РСФСР, заслуженный деятель науки Российской Федерации, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, почетный изобретатель РСФСР Подвальный Семен Леонидович в октябре отметил Юбилей. Подвальный Л.С. родился 17 октября 1938 г. в Одессе. В июне 1941 г. началась война, а в январе 1942 года Семен с мамой попали в концлагерь, где они пробыли до марта 1944 года. После освобождения Советской армией Семен с мамой добрались до поселка Кодымы Одесской области, где жили родители матери, а после демобилизации в 1947 г. сюда вернулся и отец. Этот небольшой районный центр и стал считать своей малой Родиной Семен Леонидович, здесь он прожил с 1944 по 1956 гг. Это были очень трудные и зачастую голодные послевоенные годы.

В Кодыме Семен Леонидович обучался в 1946-1956 г.г. в русской средней школе на территории военного городка правительственной связи, закончив ее с золотой медалью.

Затем он поступил в Одесский политехнический институт на химикотехнологический факультет на вновь открытую специальность «Автоматизация производственных процессов». После окончания института с отличием Семен получил профессию инженера-механика и в 1961 г. был направлен на работу в г. Донецк в Украинский НИИ пластмасс, а затем перераспределен в Воронежский филиал ОКБА НПО «Химавтоматика». Здесь Семен Леонидович принимал активное участие в разработке и внедрении ряда систем автоматического регулирования на базе вычислительной техники (АСУТП) на отечественных заводах по производству синтетического каучука. В течение двух лет был пройден путь от рядового инженера до руководителя группы и научного руководителя НИР. Основные научно-технические результаты отражены в многочисленных отчетах, как по этой, так и по смежной тематике.

Работу в Воронежском ОКБА НПО «Химавтоматика» Семен Леонидович совмещал с учебой в аспирантуре, в 1968 году он защитил кандидатскую диссертацию. С 1970 года и по настоящее время Семен Леонидович работает в Воронежском государственном техническом университете (ранее Воронежском политехническом институте).

В Политехе у Семена Леонидовича появилась возможность более плотно сосредоточиться на научной работе. Руководство вуза поощряло защиты своих ученых. В институте стали издаваться научные журналы и сборники, проводились конференции. В конце 70-х годов публикации Семена Леонидовича появились в центральных журналах страны «Автоматика и телемеханика», «Теоретические основы химической технологии», «Журнал прикладной химии» и других, были сделаны доклады на Всесоюзных конференциях различного профиля. Активно велась подготовка к защите докторской диссертации, которая состоялась в 1982 г. и была направлена на использование современных математических моделей для исследования и оптимизации химико-технологических процессов.

В 1983 г. в Воронежском политехническом институте при непосредственном участии С.Л. Подвального была создана кафедра автоматизированных и

вычислительных систем (кафедра ABC). Кафедра вела подготовку специалистов по АСУТП, а с 1986 началась подготовка инженеров по востребованной в регионе Центрального Черноземья специальности «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети». Возглавляемая С.Л. Подвальным кафедра на протяжении многих лет входила в число лучших профильных кафедр страны.

Подвальный С.Л. всегда большое внимание уделял подготовке кадров высшей квалификации. Под его руководством защищено 11 докторских и более 60 кандидатских диссертаций.

Семен Леонидович является председателем диссертационного совета Д 99.2.031.03 и главным редактором журнала «Системы управления и информационные технологии», который входит в Перечень ВАК РФ.

За выдающиеся научные заслуги Подвальный С.Л. избран академиком Международной Академии информатизации, Российской Академии естественных наук, Сербской королевской академии науки и культуры. Семен Леонидович с 2021 года является Почетный гражданином Воронежской области.

Семен Леонидович обладает высокой эрудицией, глубокими познаниями, отличается широтой научных интересов, целеустремленностью и высокой работоспособностью, потрясающим чувством юмора.

За многолетнюю плодотворную работу, научные и педагогические достижения Семен Леонидович награжден государственными и отраслевыми наградами, медалями Федерации космонавтики РФ, имеет Благодарность (2015 г.) и Почетную грамоту (2019 г.) Президента Российской Федерации В.В. Путина. Указом Губернатора Воронежской области Гусева А.В. в связи с 85-летием со дня рождения Подвальный С.Л. награжден медалью «За труды во благо земли Воронежской».

Редакция журнала Химия, физика и механика материалов и коллеги от всей души поздравляют Семена Леонидовича с Юбилеем и желают крепкого здоровья, благополучия и успехов в научной деятельности!

Проскурин Д.К., Рудаков О.Б., Небольсин В.А., Перцев В.Т.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 666.646

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ШПАТЛЕВОЧНЫХ ОТДЕЛОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.М. Усачев*, О.Р. Приз

Воронежский государственный технический университет, Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

*Адрес для переписки: Усачев Александр Михайлович, E-mail: usachevam@ygasu.vrn.ru

Отделочные материалы являются неотъемлемым компонентом в номенклатуре строительных материалов. Именно они определяют архитектурный облик зданий и сооружений, придают завершающий вид внутренним помещениям. Основными функциями отделочных материалов являются: защита здания и сооружения от вредного воздействия окружающей среды; придание завершающего архитектурного оформления и создание особых санитарногигиенических условий. В настоящее время в качестве отделочных материалов применяют керамические материалы, изделия из стекла и древесины, природный и искусственный камень, полимерные и лакокрасочные материалы. Статья посвящена изучению основных свойств (время и степень высыхания, стекание и эластичность при изгибе) шпатлевочных материалов. В работе представлены сравнительные характеристики шпатлевки финского производства марки PROFINISZ Каbe и немецкого производства марки ROTBAND Knauf.

Ключевые слова: отделочные материалы, шпатлевки, основные свойства

STUDY OF BASIC PROPERTIES OF PUTTY FINISHING MATERIALS

7

[©] Усачев А.М., Приз О.Р., 2023

A.M. Usachev*, O.R. Priz

Voronezh State Technical University,
Russian Federation, 394006, Voronezh, ul. 20-letiia Oktiabria, 84,

*Corresponding author: Alexander M. Usachev, E-mail: usachevam@ygasu.vrn.ru

Finishing materials are an integral component in the nomenclature of building materials. They determine the architectural appearance of buildings and structures, give a final look to the interior. The main functions of finishing materials are: protection of buildings and structures from the harmful effects of the environment; giving the final architectural design and creating special sanitary and hygienic conditions. Currently, ceramic materials, glass and wood products, natural and artificial stone, polymer and paint materials are used as finishing materials. The article is devoted to the study of the basic properties (time and degree of drying, runoff and elasticity during bending) of putty materials. The paper presents the comparative characteristics of the putty of the Finnish production of the PROFINISZ Kabe brand and the German production of the ROTBAND Knauf brand.

Keywords: finishing materials, putties, basic properties

Введение. Отделочные материалы являются неотъемлемым компонентом в строительных процессах. Они определяют архитектурный облик зданий и сооружений, придают завершающий вид внутренним помещениям.

В нынешних реалиях в связи с неблагоприятной ситуацией, сложившейся на рынке строительных материалов в сегменте импорта, более остро встаёт вопрос контроля качества и возможности импортозамещения продукции, в том числе большого количества отделочных материалов. В этой работе уделяется внимание основным свойствам шпатлевочных отделочных материалов импортного производства (Финляндия и Германия).

Несмотря на многообразие современных отделочных материалов, основными функциями их являются: защита здания и сооружения от вредного воз-

действия окружающей среды; придание завершающего архитектурного оформления и создание особых санитарно-гигиенических условий.

Основные требования, предъявляемые к отделочным материалам можно разделить на группы:

- 1) эстетические свойства (гармония, тон, цвет и др.);
- 2) санитарно-гигиенические свойства (здоровые условия для жизни, огнестойкость, токсичность, радиационные характеристики);
 - 3) срок службы;
- 4) экономическая эффективность (себестоимость, расходы на текущий и капитальный ремонт).

В настоящее время в качестве отделочных материалов в строительной практике широко применяют керамические материалы, изделия из стекла и древесины, природный и искусственный камень, полимерные и лакокрасочные материалы.

Именно лакокрасочным материалам, на долю которых приходится около 50 % всех отделочных материалов, уделяется внимание в данной работе.

Лакокрасочные материалы имеют собственную классификацию, представленную в табл. 1.

Таблица 1 Классификация пакокрасочных материалов

классификация лакокрасочных материалов		
Признак классификации	Лакокрасочные материалы	
По виду материала	Лаки, краски, грунтовки, шпатлевки, эмали	
По условию эксплуатации	Атмосферостойкие, ограниченно-атмосферостойкие, консервационные, водостойкие, специальные	
По методу нанесения	Кистевые, пульверизационные	
По консистенции	Жидкие, вязкие, пастообразные	

В данной работе проводилась оценка качества двух европейских шпатлевок PROFINISZ Kabe(производство Финляндия) и немецкого ROTBAND Knauf (производство Германия).

Экспериментальная часть

К основным свойствам шпатлевочных отделочных материалов можно отнести: время и степень высыхания, стекание и эластичность при изгибе.

Степень высыхания характеризует состояние поверхности лакокрасочного материала, нанесенного на пластину, при определенных времени и температуре сушки [1].

Время высыхания — промежуток времени, в течение которого достигается определенная степень высыхания при заданной толщине лакокрасочного слоя и при определенных условиях сушки [1].

За результат испытания при выявлении времени и степени высыхания принимают время в минутах, часах, или сутках необходимое для достижения определенной степени высыхания нанесенного на пластинку лакокрасочного материала при условиях сушки, толщины наносимого слоя и нагрузки, установленных в соответствии с ГОСТ 19007-73 (табл. 2 и 3 [1]).

 Таблица 2

 Условия проведения испытания при выявлении времени и степени высыхания лакокрасочных материалов

Степень высыхания	Масса гири
2	20 г
3	200 г
4 и 5	2 кг
6 и 7	20 кг

 Таблица 3

 Результаты определения времени и степени высыхания лакокрасочных материалов

	 	ж	
Степень	условия испытания Фактически		
высыхания	у словия испытания	полученные результаты	
1	Насыпание стеклян-	Стеклянные шарики полностью удаляются мягкой	
1	ных шариков	волосяной нитью, не повреждая поверхности пленки	
2	Нагрузка 20 г	Бумага не прилипает к покрытию	
3	Нагрузка 200 г	Бумага не прилипает к покрытию	
4	Новахима 2 кв	Бумага не прилипает к покрытию, на поверхности по-	
4	Нагрузка 2 кг	крытия образуется след от нагрузки	
5	Новахима 2 кв	Бумага не прилипает к покрытию и не оставляет след	
5	Нагрузка 2 кг	от нагрузки	
6	Horavaya 20 van	Бумага не прилипает к покрытию, на поверхности по-	
6	Нагрузка 20 кг	крытия образуется след от нагрузки	
7 11	Нагрузка 20 кг	Бумага не прилипает к покрытию и не оставляет след	
/		от нагрузки	

Стекание шпатлевки с вертикальной поверхности определяют визуально на одном образце. Для этого пластинку с нанесенной шпатлевкой устанавливают в вертикальном положении (по длине пластинки) и выдерживают её при температуре (20±2) °C в течение 30 мин. Шпатлевка не должна стекать [2].

Эластичность шпатлевочного покрытия при изгибе определяют с помощью прибора показанного на рис. 1 [2].

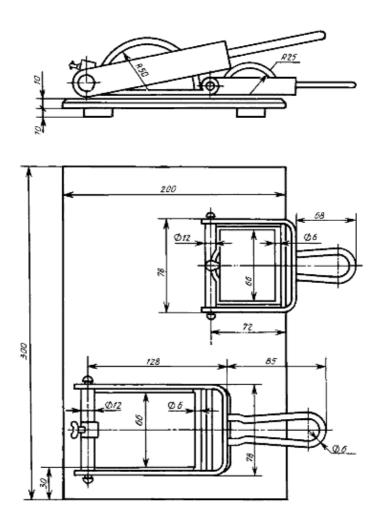


Рис. 1. Прибор для определения эластичности пленок при изгибе

Прибор состоит из металлической плиты, к которой прикреплены полуцилиндры диаметром 100 и 50 мм, подвижной рамки с прижимным валиком для прижатия пластинки к цилиндрической поверхности, винта крепления и деревянной подставки [2].

Пластинку с нанесенной шпатлевкой при помощи винта крепления укрепляют одним концом на приборе и при опускании рамки в горизонтальное положение прижимают валиком к цилиндрической поверхности [2].

Испытания проводят на трёх образцах. Подготовленные образцы выдерживают в сушильном шкафу в течение 2-х часов в соответствии с ГОСТ 10277-90. Затем пластинки вынимают, охлаждают в течение 30 минут [2].

Шпатлевки считают соответствующими нормативным требованиям, если на их поверхности, при изгибе по полуцилиндру 100 или 50 мм не образуется трещин, видимых невооруженным глазом. Трещины на расстоянии до 15 мм от краев шпатлевочного покрытия в расчет не принимают [2].

Результаты и их обсуждение

Результаты испытаний основных свойств изучаемых шпатлевок представлены в табл. 4.

Основные свойства шпатлевочных материалов

Таблица 4

Наименование	Значения		
показателей	PROFNISZ Kabe (Финляндия)	ROTBAND Knauf (Германия)	
1. Время и степень высыхания	липает к покрытию, на поверхности покрытия образуется след от нагрузки в 2 кг)	Зч до степени 4 (бумага не прилипает к покрытию, на поверхности покрытия образуется след от нагрузки в 2 кг) 5ч до степени 5 (бумага не прилипа-	
	липает к покрытию, на поверхности покрытия не образуется след от нагрузки в 2 кг)	ет к покрытию, на поверхности по- крытия не образуется след от нагрузки в 2 кг)	
2. Стекание	Не стекает с вертикальной стеклянной пластины в течение 30 минут	Не стекает с вертикальной стеклянной пластины в течение 30 минут	
3. Эластичность при изгибе	держки при температуре 65-70°C в течение 2 часов не имеет трещин на поверхности после изгиба по полуцилиндру диаметром 100 мм Шпатлевочные покрытие после выдержки при температуре 65-70°C в течение 2 часов имеет трещины на	течение 2 часов не имеет трещин на поверхности после изгиба по полуцилиндру диаметром 100 мм Шпатлевочные покрытие после вы-	

Результаты сравнительных испытаний показали незначительное расхождение качества шпатлевок немецкого и финского производства.

Шпатлевка финского производства PROFNISZ Каbe показала более быстрое высыхание. Так степень высыхания 5 данная шпатлевка достигает за 2,5 часа, в то время как немецкая шпатлевка ROTBAND Knauf этой же степени высыхания достигает только за 5 часов.

По показателю стекания обе марки продукции соответствуют нормативным требованиям.

По показателю эластичности при изгибе обе марки шпатлевок не соответствуют требованиям, та как после изгиба по полуцилиндру 50 мм на образцах имеются трещины.

Заключение. Результаты исследований показали, что шпатлевки финского и немецкого производства не по всем основным свойствам соответствуют нормативным показателям. Это показывает, что не вся импортная продукция имеет хорошее качество и, соответственно, представляется возможность замены данных шпатлевок на более качественные материалы отечественного производства.

Список литературы

- 1. ГОСТ 19007-73. Материалы лакокрасочные. Метод определения времени и степени высыхания. ИПК Издательство стандартов, 2003.
- 2. ГОСТ 10277-90. Шпатлевки. Технические условия. ИПК Издательство стандартов, 2001.
- 3. Микульский В.Г. Строительные материалы (Материаловедение. Строительные материалы) / В.Г. Микульский. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. 536 с.

References

1. GOST 19007-73. Paint and varnish materials. Method for determining the drying time and degree. IPK Publishing House of Standards, 2003.

- 2. GOST 10277-90. Putty. Technical conditions. IPK Publishing House of Standards, 2001.
- 3. Mikulskiy V.G. Building materials (Materials Science. Building materials) / V.G. Mikulsky. M.: Publishing House of the Association of Construction Universities, $2004. 536 \, p$.

Усачев Александр Михайлович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного технического университета

Приз Олег Русланович — студент факультета экономики менеджмента и информационных технологий Воронежского государственного технического университета

УДК 543.544:663.51

НЕИЗОЦИАНАТНЫЙ ГИБРИДНЫЙ ПОЛИУРЕТАН. НАПОЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ КАРБОНАТОВ: ОПТИМАЛЬНЫЕ СОСТАВЫ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

O.Л. Фиговский 1 , O.Б. Кукина 2* , A.В. Брежнев 2

¹Международный научно-исследовательский центр нанотехнологий «Полимат», Израиль, 34750, Хайфа, ул. Шимкина, За ²Воронежский государственный технический университет, Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября,84

*Адрес для переписки: Кукина Ольга Борисовна, E-mail: okukina@cchgeu.ru

Гибридные неизоцианатные полиуретановые материалы (HNIPU) образуются в результате к влаге наполнителей или поверхности подложки. Химическая стойкость полученного реакции между аддуктами олигомерных циклокарбонатов с первичными ди- и полиаминами и эпоксидными олигомерами. Эти материалы не имеют пор, поскольку реакция их образования нечувствительна материала, содержащего внутримолекулярные водородные связи, в 1,5-2 раза выше, чем у материала той же химической структуры, но без таких связей. Обсуждается новый материал, а также экологически безопасный способ его изготовления.

Ключевые слова: гибридные неизоцианатные полиуретановые материалы, полиаминами

NON-ISOCYANATE HYBRID POLYURETHANE FLOOR COVERINGS BASED ON CYCLIC CARBONATES: OPTIMAL COMPOSITIONS AND OPERATIONAL PROPERTIES

O.L. Figovsky¹, O.B. Kukina²*, A.V. Brezhnev²

[©] Фиговский О.Л., Кукина О.Б., Брежнев А.В., 2023

¹International Nanotechnology Research Center "Polymat",

Israel, 34750, Haifa, Shimkina str., 3a

Voronezh State Technical University,

Russian Federation, 394006, Voronezh, ul. 20-letiia Oktiabria, 84

*Correspondling author: Kukina Olga Borisovna, E-mail: okukina@cchgeu.ru

Hybrid non-isocyanate polyurethane materials (HNIPU) are formed as a result of the reaction between adducts of oligomeric cyclocarbonates with primary di- and polyamines and epoxy oligomers. These materials do not have pores, since the reaction of their formation is insensitive to the moisture of fillers or the substrate surface. The chemical resistance of the resulting material containing intramolecular hydrogen bonds is 1.5-2 times higher than that of a material of the same chemical structure, but without such bonds. A new material is being discussed, as well as an environmentally safe way of making it.

Keywords: hybrid non-isocyanate polyurethane materials, polyamines

Monolithic flooring based on nonysocyanate polyurethanes binders

Modern industrial floors must be appropriate to comply with a great variety of the requirements such as dustless surface, high strength, evenness, high wear resistance, easy cleaning, etc. Durability and chemical resistance of monolithic floor covering depends on properties of a binder. A high build brush or roller applied polyurethane coating for concrete, granolithic, sand / cement and polyester type of a base course allows to provide long time stability of monolithic covering and its high crack resistance. It has excellent resistance to attack from spillage of a wide range of contaminants. However hydrolytic stability of existing polyurethanes is quite poor owing to a lot of pores. Other essential lack is process of manufacture of polyurethanes with use of toxic isocyanates.

Nonisocyanate polyurethane materials are formed by the reaction between oligomeric cyclocarbonates and primary di- and polyamines resulting in a increasing of the hydrolytic stability of hetero chain polymers. An intramolecular hydrogen bond is derived from the hydroxy group at the β-carbon atom of the polyurethane chain as illustrated below

R-O-CH₂-CH-CH₂ + HNR'
$$\longrightarrow$$
 R-O-CH₂-CH-CH₂-O-C-NH-R'

I I II

O Q
OH.....O
(1)

Quantum-mechanical calculation, IR and NMR spectroscopic investigations have confirmed the stability of the resulting product with essentially low hydrolytic activity. The material have not pores because the reaction of its formation is insensitive to the moisture of fillers or substrate surface. Chemical resistance of the obtained material containing intramolecular hydrogen bonds is 1.5-2 times greater than material of the same chemical structure but without such bonds. In this way modifying structure of the polymer, interrelation between structural parameters and properties of the new material and ecologically safe method of its manufacture were elaborate and approved.

Nonysocyonate polyurethane materials manufacture were elsaborate and approved could be homogenous and do not require any solvents at preparation. The main cyclocarbonate oligomers are produced by bubbling the carbon dioxide through epoxy liquid oligomers in the presence of a catalyst. These cyclocarbonate oligomeres and primary amine oligomers are used (Table 1).

Basic operational properties of the covering

Properties

Indices

Table 1

1	2
Solid,%	100
Pot life (doubling initial viscosity), hours	2-4
Curing time	4 -7 days at 18 - 220°C
Film appearance	Clear smooth
Pencil hardness	>2H
Impact, kg*cm	50

	Continuation of the table 1
1	2
Coefficient of chemical	0.90 - 0.95
resistant:	0.95 -1.0
H ₂ SO ₄ 10% at the 600°C	0.95 -0.90
NaOH, 10% at the 600°C	
H_2O , at the $600^{\circ}C$	

The chemical resistance of nonisocyanate polyurethanes can be increased by adding inorganic powdered substances during the fabrication process. The substances selectively interact with water and aggressive medium (acids, alkalis and salts) by forming a system of high-strength hydrate complexes into durable inorganic adhesive cements. At interaction with the medium crystal hydrates penetrate into micropores and microcracks of a material. This process «heals» a material and increases its strength. During the process of crystal hydrates formation the volume and the specific contact surface of an active additive expand into the constant volume of the polymeric matrix; as a result of which the adhesion on the polymer-crystal boundary becomes stronger.

The flooring on the base of cyclocarbonate of chlorine-containing oligomer Oxilin-5[®] was prepared (Fig.1). The covering is stable to UV and has lower combustibility. Use of polyaminosiloxane hardener «ASOT»[®] and epoxy resin made possible to produce the covering with externally high water and solvent resistance, high adhesion to different substrates

Advanced way of modificatuion of epoxy polymers is introduction into epoxy matrix hydrtoxyurethane modifiers (HUM). HUM are prepared by mixing of amines and mono- cyclocarbonates- Structure of HUM depends on amines and cyclocarbonates In case of propylene carbonate and diamines we can prepare different ure-thanediols with different –R–

If amine H₂N-R-NH₂ contains only primary amino groups HUM has not reactive (for hybrid epoxy-hydroxyurethane systems) functionalities. If amine's radical R contains secondary amino groups too HUM can react with epoxy functionalities. Cyclocarbonate groups can react only with primary amino groups and not with secondary. HUM is compatible with epoxy-amine polymers and is used for their modification. Structure of the network polymers depends on used HUM. In case of HUM based on primary diamines there are formed clathrates at the expense of hydrogen bonds. In case of HUM that contains secondary amino groups too, additional covalent chemical bonds are formed. We have system of pendant hydroxyurethane groups in the epoxy-amine matrix. The epoxy-amine polymers with HUM are obtained without toxic isocyanates and have increased mechanical properties. So it is possible to prepare composite materials with advanced properties. All HUM can be easy prepared from cyclocarbonates and amines. The reaction is carried out at 80°C during 1.5-2.0 hours.

The proposed dendro-aminosilane hardeners give the possibility to introduce the siloxanefragments into aromatic structure of diphenylolpropane based epoxyamine network polymers. Additional hydrolysis of aminosilane oligomer creates the secondary nano-structured network polymer that improves the service properties of the compound. Branched (dendro) polyamine hardeners are novel direction in epoxy and cyclocarbonate and acryl resins chemistry.

The new hardeners give rise to formation of interpenetrating polymer network (IPN) of a polymerized resin with a polysiloxane network by the hydrolytic polycondensation of silane groups. IPN network may be formed on the base of epoxy- cyclocarbonate oligomers. It was found that at least 0.1 equivalent weight of silane per epoxy resin equivalent weight may result in IPN formation. It has been known that epoxy resin has low resistance to acetone and methanol attack. IPN film provides increasing the resistance.

New high quality monolithic flooring ECPU 2851TM (Polymate Ltd.-INRC)

Monolithic two-component nonisocyanate floor covering ECPU 2851 is elaborated on the base of cyclocarbonate and epoxy oligomers. The covering is

destined for manufacture of seamless indoor floors. For areas where both cleanliness and durability are crucial, Flow fresh ECPU 2851 flooring systems deliver absolute reliability. It does not contain organic solvent, harmful and toxic substances, possesses high chemical and abrasive resistance, can be operated in high humidity media, and meets the special sanitary-and-hygienic requirements, ideally suited to industrial, institutional and commercial uses.

- 1) The suggested monolithic floor covering can find application in:
- 2) Enterprises of light and food-processing industry, catering;
- 3) Enterprises of chemical, paint-varnish and pharmaceutical industry;
- 4) Enterprises of electronic industry and precise mechanical engineering;
- 5) Enterprises of machine building and aerospace industry;
- 6) Enterprises of wood-working industry;
- 7) Medical institutions and objects of consumer services;
- 8) Trading premises and warehouses;

Premises with increased decorative requirements: trading and showrooms, television studious

A color glass chips can be inserted in ECPU 2851 flooring with the subsequent covering with the transparent protective varnish. Binder with rubber granules, quartz can be used on ramps and other critical places for increase of adhesion. The coating can be of any color. Fig.1 illustrates recommended structure of the floor covering ECPU 2851.

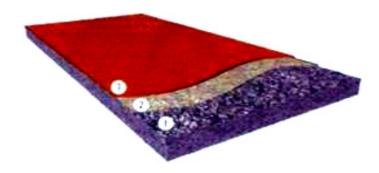


Figure 1. 1 - substrate; 2 - primer; 3 - covering ECPU 2851 with thickness 0.5-3mm

The properties of such hybrid nonisocyanate polyurethane covering are given at Tables 2-4

Table 2

Properties of the hybrid nonisocyanate polyurethane floor covering ECPU 2851

Properties	Indices	
Coating material	Two-component hybrid nonisocyanate polyuretane	
Ratio of components on weig (binder: hardener)	100 : 55	
Viscosity of binder	No more 3000 cps a 5°C (Brookfield RVD Spindle 29, velocity 100 rpm1)	
Standard colors	According to catalog of basic colors	
Pot life	40-60 min at 25°C	
Substrate	Concrete, cement cover, a cover. asphalt, wood	
Primer	Depends on subst rate	
Thickness of the coatuin coating	0.5-3mm	
Application temperature	15-25°C	
Curing time	Walk-on in 24h at 25°C, full chemical load:7 to 10 days	

Table 3
Mechanical properties of the hybrid nonisocyanate polyurethane floor covering ECPU 2851 (after 10 days at 25°C)

Properties	Indices
Rupture strength	3-4 kg/mm ²
Elongation at rupture	4-8%
Hardness (Shore D)	More than 72
Wear resistance (ASTM 4060-90)	70-100mg/1000cycles (Taber CS-17 wheel, 1000g weight)

Table 4
Chemical properties of the hybrid nonisocyanate polyurethane floor covering
ECPU 2851 (after 14 days at 25°C)

2010 2001 (allor 1 : days at 20 °C)		
	Media	Resistance
	Water	
	Petrol	
	Aviation	Resistant
	petrol	
	Oil	
	NaCl (5%)	
	Formaldehyde	Resistant during short time
	Sulfuric acid	
	NaOH (20%)	
	Benzene	Not Resistant
	Alcohols	

On optimization of a monolithic polymer chemical resistant flooring

Depending on operating conditions the requirements to the polymeric floor composition of industrial building are quite varied and therefore in construction practice a plenty of various types and functions coverings are applied. In this connection the optimization problem of materials forming specific layers of floor covering is actual. A mathematical model of optimal monolithic covering is suggested. The model can be realized in multifactor space of specific manufacture conditions di, including among other the indices of durability, labor-intensiveness and cost.

Efficiency function of such model looks like:

$$D = (\Pi d_i)^{1/n} \tag{3}$$

where: D – generalized optimization criterion; dis the individual optimization factor determ ined by the formula:

$$di = exp[-exp(y_i)]; 0 < d_i < 1$$
 (4)

and y'iis scale of the i- factor (usually $-3 \le y'I$, 3 in all of the range yi),

$$y_i = f(x_1, x_2, ...x_n, z_1, z_2, ...z_k, t)$$
 (5)

where y_i — «weight» characteristic i-th parameter; x_1 , x_2 ,... x_n — quantity of the given component in the composition; z_1 , z_2 , ... z_k — operating conditions during time t.

Substitution of Eq.3 into Eqs.1 and 2 make possible to find the efficincy function D in the all factorial space xn at interval Δt at fixed operating conditions zk.

A triaxial stress-strain state arises in a floor covering during its shrinkage. However one can consider that plane stress-strain state occurs in the central part of the covering. At unrestrained (free) shrinkage the mechanical properties of the covering is changed as it hardening.

The stress-strain state of «optimal» monolithic floor covering is calculated on the base viscous-elastic rheology. Maxwell model of non-linear continuum as applied to inner stresses at a covering curing .On the assumption that all model parameters are differentiable with Jrespect to time the normal tension stress is obtained:

$$d\sigma/dt = \sigma[(1/T) - (1/E)(d\varepsilon/dt)] = E(d\varepsilon/dt)$$
 (6)

where $\sigma = \sigma(t)$, $\varepsilon = \varepsilon(t)$, E = E(t), $T = \mu/E = T(t)$, $\mu = \mu(t)$ are tension stress, elongation, modulus of elasticity, and Poissons ratio as functions of time respectively

The solution of Eq..4 is: Eq.5:

$$\sigma = exp \left[\int_{t_0}^{t} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{E} \frac{dE}{dt} \right) dt \right] \cdot \left\{ \int_{t_0}^{t} E \frac{d\varepsilon}{dt} \left[exp \int_{t_0}^{t} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{E} \frac{d\varepsilon}{dt} \right) dt \right] + \sigma_0 \right\}$$
(7)

where constant T is found from the initial conditions ($\sigma = \theta$ for $t = \theta$)

Experimental dependences of the modulus of elasticity, viscosity and deformation of free shrinkage on time were determined for the most materials that are used for seamless polymer floors. These dependences can be described by the following hyperbolic functions with accuracy that is sufficient for practical calculations:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\infty} th kt;$$

$$E = E_{\infty} th^{m} kt;$$

$$\mu = \mu_{1} [th kt (1-p th kt)] / 1-th^{2} kt;$$

$$T = T_{1}(1-p th kt) / 1-th^{2} kt$$
(8)

where ε_{∞} and E_{∞} are the limiting values of residual deformation and modulus of elasticity of the material at free shrinkagerespectively $(t \to \infty)$; m, p, k are the con-

stants of the material. It should be noted that for purely elastic materials in hardened state $0 and <math>\mu \to \infty$ at $t \to \infty$; for viscoelastic compositions in hardened state $p=1, T_l \to \infty$.

Substitution of Eq. 6 in Eq. 9.5 gives:

$$\sigma = \left[\sigma_{\infty}(1 - p \ th \ kt) \ th^m \ kt \right] / q - p \tag{9}$$

where $\sigma_{\infty} = E_{\infty} \varepsilon_{nom}$ – nominal stress; q = 1/T1

Results of experiments with sufficient accuracy have coincided with calculated. Thus the deduced interrelation between separate parameters of curing stress allows to change the properties of a composition for produce the floor covering with beforehand given properties. Recommendation for design impact- and chemical-resistant covering with application the specific inorganic additives, which form the high strength hydrate complexes with aggressive environment, are given.

Список литературы

- 1. Фиговский О., Козлов А. Монолитные покрытия для полов химических предприятий, Химическая промышленность І. Т.21. №1, 1989. С. 59-61 (на русском языке)
- 2. Шаповалов Л., Бланк Н., Тартаковский А. Неизоцианатный полиуретан для защитных покрытий / Тезисы 2-й конференции по коррозии / Коррозионный форум. NACE Израиль, Тель-Авив, Израиль, 1996. № 1.1.3.
- 3. Handbuch Industriefu ßböden: Planung, Ausführung, Instandhaltung, Sanierung, 4. Auflage, ExpertVerlag, 2001.
- 4. Фиговский О., Шаповалов Л. Полимеры на основе циклокарбонатов, включая неизоцианатные, Энциклопедия поверхности и коллоидной науки. Т. 3, 1633-1653, N.Y. Taylor & Francisco, 2006.
- 5. Зайц А., Курад Л., Гарбач А., Вольф Л. Процедуры испытаний и другие правила. RILEM TC 184-IEF «Промышленные полы» / Отчет о современном состоянии, 2006. С. 101-110.

- 6. Фиговский О., Шаповалов Л. Монолитные полы на основе неизоцианатных полиуретановых вяжущих / 6-й Международный коллоквиум «Промышленные полы'07» / Труды, т.2, Германия, январь 2007. С. 693-698.
- 7. Дубровская, Фиговский О. Оптимизация монолитного покрытия полов в отраслях борьбы с коррозией / Труды ICCE/9, Сан-Диего, США, 1-6 июля 2002. С. 183-184.
- 8. Фиговский О., Бейлин Д. Оптимизация монолитного полимерного покрытия для полов химических предприятий / 10-я Израильская конференция по инженерии материалов IMRC-10 / Программа и тезисы. Мертвое море. Израиль, 2002. С. 102-103.

References

- 1. Figovsky O., Kozlov A. Monolithic coatings for the floors of chemical plants / Khemicheskaya. Promyshlennost I, vol.21, n.1, 1989. P.59-61 (in Russian)
- 2. Shapovalov L., Blank N., Tartakovsky A. Nonisocyanzte polyurethane for protective / Coatings. Abstracts of the 2nd Conference of the Corrosion, /Corrosion Forum, NACE .— Israel, Tel-Aviv, Israel, 1996. No. 1.1.3.
- 3. Handbuch Industriefu ßböden: Planung, Ausführung, Instandhaltung, Sanierung, 4. Auflage, Expert Verlag, 2001.
- 4. Figovsky O., Shapovalov L. Cyclocarbonate based polymers including non-isocyanate, Encyclopedia of Surface and Colloid Science, v. 3, 1633-1653, N.Y. Taylor & Francis, 2006.
- 5. Zajc A., Courad L., Garbacz A., Wolf L Testing Procedures and Other Regulations, RILEM TC 184-IEF «Industrial Floors», State-the-art Report, 2006. P.101-110.
- 6. Figovsky O., Shapovalov L. Monolithic flooring based on nonisocyanate polyurethane binders, 6th International Colloquium, «Industrial Floors'07», Proceedings, vol.2, Germany, January 2007. P. 693-698.
- 7. Dubrovskaya, Figovsky O. Optimization of a monolithic covering for the floors in corrosion control industries, Proceeding of ICCE/9, San Diego, USA, July 1-6, 2002. P. 183-184.

8. Figovsky O., Beilin D. Optimization of a monolithic polymer covering for floorings of chemical plants, The 10th Israel Materials Engineering Conference IMRC-10, Program & Abstracts, Dead Sea, Israel, 2002. – P. 102-103.

Фиговский Олег Львович — д-р техн. наук, специалист в области создания новых композиционных материалов, Академик EAS, РИА и РААСН, почётный доктор КНИТУ, почётный профессор КГТУ, ВГТУ и WSG

Кукина Ольга Борисовна – канд. техн. наук, доцент кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

Брежнев Аркадий Викторович – студент строительного факультета ВГТУ, группа СУЗ 211

УДК 004.89:620.22

ПЕРСПЕКТИВЫ ОТКРЫТИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

А.И. Отченашенко 1* , В.В. Корнеева 2 , М.С. Торосян 2

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (Московский инженерно-физический институт), Российская Федерация, 115409, г. Москва, Каширское ш., д. 31 ²Воронежский государственный технический университет, Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84

*Адрес для переписки: Отченашенко Александр Иванович, E-mail: alot.zte@gmail.com

В статье описано, как привлечение таких технологий, как искусственный интеллект (ИИ), высокопроизводительные вычисления и автоматизация лабораторных процессов, могут ускорить открытие новых материалов. Авторы обсуждают ключевые технологии, такие как извлечение данных из неструктурированных источников, использование ИИ для повышения эффективности моделирования процессов, генеративные модели для предложения новых гипотез, а такжедля тестирования новых материалов. Показано, как эти технологии могут работать совместно, чтобы ускорить процесс открытия новых материалов. В качестве примера приводится использование такого подхода для поиска генераторов фотокислотс улучшенными экологическими характеристиками. Авторы считают, что подобные работы станут важной частью будущих открытий в области материаловедения.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, открытие материалов, процессы моделирования, генеративные модели

ACCELERATING THE DISCOVERY OF MATERIALS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

© Отченашенко А.И., Корнеева В.В., Торосян М.С., 2023

A.I. Otchenashenko¹*, V.V. Korneeva², M.S. Torosyan²

¹National Research Nuclear University «MEPhI»

(Moscow Engineering Physics Institute),

Russian Federation, 115409, Moscow, Kashirskoe sh., 31

²Voronezh State Technical University,

Russian Federation, 394006, Voronezh, ul. 20-letiia Oktiabria, 84

*Corresponding author: Alexander I. Otchenashenko, E-mail: alot.zte@gmail.com

The article describes how the involvement of technologies such as artificial intelligence (AI), high-performance computing and automation of laboratory processes can accelerate the discovery of new materials. The authors discuss key technologies, such as data extraction from unstructured sources, the use of AI to improve the efficiency of process modeling, generative models for proposing new hypotheses, as well as for testing new materials. It shows how these technologies can work together to speed up the process of discovering new materials. As an example, the use of such an approach to search for photo acid generators with improved environmental characteristics is given. The authors believe that such works will become an important part of future discoveries in the field of materials science.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, discovery of materials, modeling processes, generative models

Введение. Новые технологии, такие как искусственный интеллект [1, 2], высокопроизводительные вычисления [3] и автоматизация технологических лабораторных процессов [4], могут ускорить процесс поиска перспективных материалов. Эти новые инструменты используютсядля формулирования гипотезы иеё экспериментальной проверки. Вычислительные потоки, сочетающие различные технологии, смогут значительно интенсифицировать разработку новых материалов с желаемыми свойствами [5]. Например, алгоритм искусственного интеллекта может помочь инженерам создавать новые материалы различной природы с заданными свойствами путем построения моделей атом за атомом

[6]. Машинное обучение и другие методы искусственного интеллекта приобретают все большее значение в химии материаловедения, особенно для проектирования и синтезирования как органических, так и неорганических композитных материалов [7].

Создан инструмент искусственного интеллекта, который объединяет его с определенными человеческими знаниями, для уточнения приоритетности тех частей исследования, где с наибольшей вероятностью они будут применены [8]. Кроме того, ученые разработали новые методы искусственного интеллекта, позволяющие проводить «автономные эксперименты», когда приборы могут работать без вмешательства человека, автоматически собирая данные и определяя, какие измерения проводить дальше, что приведёт к более быстрому освоению новых технологий [9].

Прорыв в науке о материалах. Материаловедение переживает определенный всплеск открытий, обусловленный появлением искусственного интеллекта и высокопроизводительных расчетных вычислений [10].

Большие объемы неструктурированных данных, таких как научные статьи и патенты, могут быть проанализированы при помощи методов обработки естественного языка, что позволяет быстро находить релевантную информацию в огромных массивах текстов [11].

Моделирование свойств различных материалов от строительных до нанопленочных может быть заметно ускорено с помощью нейронных сетей и других методов машинного обучения. Эти модели позволяют анализировать свойства большого числа соединений [12].

Автоматизация лабораторных технологических процессов делает возможным синтез и тестирование предлагаемых материалов, что сокращает время экспериментальной проверки новых идей [13].

Эти новые возможности меняют сам подход к открытию материалов. Циклы обучения сокращаются, а эффективность работы ученых возрастает.

Применение на практике. В качестве примера рассмотрим проект, направленный на решение проблемы, связанной с генераторами фотокислот

(PAGs), которые являются критически важными фоточувствительными комплексами, используемыми в химически активированных фоторезистах при производстве полупроводников [14, 15]. Среди известных классов PAGs, наиболее широко используются комплексы на основе сульфониевых ([SR₃]+) или йодониевых ([IR₂]+) ионов в полупроводниковой литографии [16]. Подобные генераторы фотокислот стали объектом усиленного внимания из-за потенциальных рисков для окружающей среды [17]. Несмотря на проведенные исследования, сложнобыстро создавать, синтезировать и внедрять новые PAGs с улучшенными показателями устойчивости, в связи с чемведутся разработки метода ускоренного поиска сульфониевых катионов PAGs с лучшими экологическими показателями [18].

Было проанализировано около 6000 патентов, статей и источников данных с использованием Deep Search для создания графа знаний. Благодаря искусственному интеллекту, были вычислены свойства для сотен сульфониевых соединений. Эти данные затем использовались для обучения генеративной модели, которая смогла создать 3000 потенциальных катионов сульфониевых PAGs за 6 часов. Однако многие специфические требования не были учтены, поэтому был применен дополнительный метод отбора [19].

Симуляция для этих экземпляров была упорядочена с использованием функции оптимизации IBM Bayesian (IBO), основанной на простой метрике, сочетающей разницу между целевой и вычисленной энергией возбуждения и вычисленной силой осциллятора:

$$S = \frac{f_{obs}}{|E_{obs} - E_{target}|},\tag{1}$$

где E_{obs} — это вычисленная энергия возбуждения, E_{target} — целевая энергия возбуждения, а f_{obs} — вычисленная сила осциллятора.

На рис. 1 показано сравнение между рабочим процессом с активацией IBO и рабочим процессом без активации. В этом примере IBO был настроен на

использовании PDTS (параллельный распределенный метод Томпсона) с использованием дескрипторов ECFP. Дескрипторы ECFP были выбраны благодаря их ранее доказанным результатам в решении этой задачи, их быстроты расчета по сравнению с другими изученными представлениями и способностиформироваться из 2D информации. В библиотеке из 400 PAGs наилучшая молекула, оптимизированная для длины волны 193 нм, была обнаружена после проверки лишь половины образцов. При этом с помощью оптимизированной методики она же была определена уже после анализа 90 молекул.

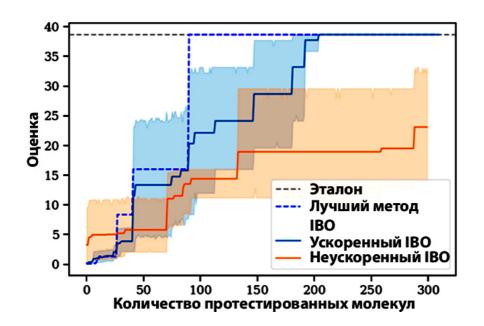


Рис. 1. Сравнение модели, ускоренной с помощью байесовской оптимизации (ускоренный IBO), и модели без этого ускорения. Сплошные линии отображают средние значения времени выполнения на основе 5 повторений, а закрашенные области представляют 95% доверительные интервалы для этой оценки. Идеальное поведение (т.е. наилучший возможный результат) показано серой пунктирной линией, а наилучшая модель с ускорением IBO показана синей пунктирной линией

Данный метод последовательного уточнения позволил уменьшить количество сгенерированных молекул в 100 раз. Это значительно сокращает время работы специалистов по экологической токсикологии, которые будут анализировать результаты для выбора лучших вариантов для следующего этапа автоматизированного ретросинтетического анализа. Применение модели ИИ для ретросинтеза выявило одностадийную реакцию как наиболее перспективный

путь. Набор инструкций для реакции был сгенерирован и передан через облако в систему Robo RXN, которая успешно провела реакцию, получив ожидаемый продукт.

Демонстрация возможностей моделей ИИ для создания PAGs направлена использование подобных подходов в будущем.

Выводы. В статье рассмотрены новые технологии, которые могут ускорить и обогатить процесс открытия различных по свойствам материалов — искусственный интеллект, высокопроизводительные вычисления и автоматизация процессов.

Показано, как эти инструменты могут применяться на каждом этапе цикла открытия — от формулировки гипотезы до экспериментальной проверки. Их использование не только повышает эффективность и точность исследований, но и позволяет значительно ускорить процесс принятия решений и внедрения инноваций.

На примере разработки новых генераторов фотокислот была продемонстрирована реализация такого подхода, объединяющего объединение знаний, моделирование, генерацию структур и автоматизированный синтез.

Подобные технологии могут стать критически важными для будущих открытий в области материаловедения. Их дальнейшее развитие и внедрение поможет ускорить решение многих глобальных проблем [20].

Список литературы

- 1. Уэллманн П.Дж. Поиск новых материалов и роль новых способов обработки //Откройте для себя материалы. 2021. Т. 1. №. 1. С. 14.
- 2. Гомес К.П., Сельман Б., Грегуар Ж.М. Искусственный интеллект для обнаружения материалов // Бюллетень MRS. 2019. Т. 44. №. 7. С. 538-544.
- 3. Людвиг А. Открытие новых материалов с использованием комбинаторного синтеза и высокопроизводительной характеристики библиотек тонкопленочных материалов в сочетании с вычислительными методами //npj Computational Materials. 2019. Т. 5. №. 1. С. 70.

- 4. Яо Зи. и др. Машинное обучение для устойчивого энергетического будущего // Материалы Nature Reviews. 2023. Т. 8. №. 3. С. 202-215.
- 5. Менон Д., Ранганатан Р. Генеративный подход к открытию, проектированию и оптимизации материалов // ACSomega. 2022. Т. 7. №. 30. С. 25958-25973.
- 6. Оливейра-младший О.Н., Оливейра М.С.Ф. Обнаружение материалов с помощью машинного обучения и раскрытие знаний // Границы в химии. 2022. Т. 10. С. 930369.
- 7. Пайзер-Кнапп Э.О. и др. Ускорение поиска материалов с использованием искусственного интеллекта, высокопроизводительных вычислений и робототехники //npjComputationalMaterials. 2022. Т. 8. №. 1. С. 84.
- 8. Лю Ю. и др. Обнаружение и проектирование материалов с использованием машинного обучения // Журнал материаловедения. 2017. Т. 3. №. 3. С. 159-177.
- 9. Монро Д. Искусственный интеллект для обнаружения материалов // Коммуникации АСМ. 2023. Т. 66. №. 4. С. 9-11.
- 10. Мроз А.М. и др. В неизвестное: Как вычисления могут помочь исследовать неизведанное материальное пространство // Журнал Американского химического общества. -2022. Т. 144. №. 41. С. 18730-18743.
- 11. Чоудхари К. и др. Последние достижения и применение методов глубокого обучения в материаловедении // npj Computational Materials. 2022. Т. 8. N 1. С. 59.
- 12. Лю Ю. и др. Машинное обучение для перспективных энергетических материалов // Энергетика и искусственный интеллект. 2021. Т. 3. С. 100049.
- 13. Поллис Р. и др. Основанные на данных стратегии ускоренного проектирования материалов //Отчеты о химических исследованиях. $2021. T. 54. N_{\odot} 4. C. 849-860.$

- 14. Цучимура Т. Последние достижения в области генераторов фотокислот для перспективных фотополимерных материалов // Журнал науки и техники о фотополимерах. -2020. Том 33. № 1. С. 15-26.
- 15. Суэйн М.С., Коул Дж. М. ChemDataExtractor: инструментарий для автоматизированного извлечения химической информации из научной литературы //Журнал химической информации и моделирования. 2016. Т. 56. №. 10. С. 1894-1904.
- 16. Нами Ю., Имени Н., Панахи Б. Применение машинного обучения в исследованиях бактериофагов //ВМСтістовіоlоду. 2021. Т. 21. №. 1. С. 1-8.
- 17. Мартин К. Дж. и др. Последние достижения в разработке генераторов фотокислот // Журнал фотохимии и фотобиологии. С: Обзоры фотохимии. 2018. Т. 34. С. 41-51.
- 18. Гимарайнш Г.Л. и др. Объективно усиленные генеративные состязательные сети (organ) для моделей генерации последовательностей // Препринт ar Xivar Xiv: 1705.10843. 2017.
- 19. Бьянчини С., Мюллер М., Пеллетье П. Искусственный интеллект в науке: формирующийся общий метод изобретения // Исследовательская политика. -2022. Т. 51. №. 10. С. 104604.
- 20. Чабб Дж., Коулинг П., Рид Д. Ускорение, чтобы не отставать: изучение использования искусственного интеллекта в исследовательском процессе // Искусственный интеллект и общество. 2022. Т. 37. №. 4. С. 1439-1457.

References

- 1. Wellmann P.J. The search for new materials and the role of novel processing routes //Discover Materials. $-2021. T. 1. N_{\odot}. 1. C. 14$.
- 2. Gomes C. P., Selman B., Gregoire J. M. Artificial intelligence for materials discovery //MRS Bulletin. 2019. T. 44. №. 7. C. 538-544.
- 3. Ludwig A. Discovery of new materials using combinatorial synthesis and high-throughput characterization of thin-film materials libraries combined with computational methods //npj Computational Materials. -2019. T. 5. N. 1. C. 70.

- 4. Yao Z. et al. Machine learning for a sustainable energy future //Nature Reviews Materials. -2023. T. 8. No. 3. C. 202-215.
- 5. Menon D., Ranganathan R. A generative approach to materials discovery, design, and optimization //ACS omega. 2022. T. 7. №. 30. C. 25958-25973.
- 6. Oliveira Jr O.N., Oliveira M.C.F. Materials discovery with machine learning and knowledge discovery //Frontiers in chemistry. 2022. T. 10. C. 930369.
- 7. Pyzer-Knapp E.O. et al. Accelerating materials discovery using artificial intelligence, high performance computing and robotics //npj Computational Materials. $-2022. T. 8. N_{\odot}. 1. C. 84.$
- 8. Liu Y. et al. Materials discovery and design using machine learning //Journal of Materiomics. − 2017. − T. 3. − №. 3. − C. 159-177.
- 9. Monroe D. Artificial Intelligence for Materials Discovery //Communications of the ACM. − 2023. − T. 66. − №. 4. − C. 9-11.
- 10. Mroz A.M. et al. Into the Unknown: How Computation Can Help Explore Uncharted Material Space //Journal of the American Chemical Society. − 2022. − T. 144. − №. 41. − C. 18730-18743.
- 11. Choudhary K. et al. Recent advances and applications of deep learning methods in materials science //npj Computational Materials. 2022. T. 8. №. 1. C. 59.
- 12. Liu Y. et al. Machine learning for advanced energy materials //Energy and AI. 2021. T. 3. C. 100049.
- 13. Pollice R. et al. Data-driven strategies for accelerated materials design //Accounts of Chemical Research. 2021. T. 54. №. 4. C. 849-860.
- 14. Tsuchimura T. Recent progress in photo-acid generators for advanced photopolymer materials //Journal of Photopolymer Science and Technology. -2020. T. $33. N_{\odot}$. 1. C. 15-26.
- 15. Swain M.C., Cole J.M. Chem Data Extractor: a toolkit for automated extraction of chemical information from the scientific literature //Journal of chemical information and modeling. 2016. T. 56. №. 10. C. 1894-1904.

- 16. Nami Y., Imeni N., Panahi B. Application of machine learning in bacteriophage research //BMC microbiology. − 2021. − T. 21. − №. 1. − C. 1-8.
- 17. Martin C.J. et al. Recent progress in development of photoacid generators //Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews. 2018. T. 34. C. 41-51.
- 18. Guimaraes G.L. et al. Objective-reinforced generative adversarial networks (organ) for sequence generation models //ar Xiv preprint ar Xiv:1705.10843. 2017.
- 19. Bianchini S., Müller M., Pelletier P. Artificial intelligence in science: An emerging general method of invention //Research Policy. − 2022. − T. 51. − №. 10. − C. 104604.
- 20. Chubb J., Cowling P., Reed D. Speeding up to keep up: exploring the use of AI in the research process //AI & society. 2022. T. 37. №. 4. C. 1439-1457.

Отченашенко Александр Иванович – аспирант кафедры компьютерных медицинских систем Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (Московский инженерно-физический институт)

Корнеева Валерия Владиславовна – канд. техн. наук, доцент кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

Торосян Марлен Саакович — магистрант кафедры теории и практики архитектурного проектирования Воронежского государственного технического университета

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕКТОВ И СВОЙСТВА ПОРИЗОВАННЫХ БЕТОНОВ

Г.И. Черноусенко, Д.В. Лихачева*

Воронежский государственныйтехнический университет, Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84

*Адрес для переписки: Лихачева Диана Владиславовна, E-mail: lixacheva2006@mail.ru

В работе рассмотрены эксплуатационные характеристики объектов и свойства поризованных бетонов, включающего конструкционный материал, получаемый путём смешивания цемента, воды, обычно лёгкого мелкого и крупного заполнителя и, обязательно, воздухововлекающих добавок, обеспечивающих во время перемешивания компонентов бетонной смеси образование повышенной пористости в цементном тесте и, в дальнейшем, в цементном камне. Целью исследования являлось ознакомиться с результатами использования в строительстве мелкозернистых поризованных бетонов.

Ключевые слова: мелкозернистый поризованный бетон, поры, теплопроводность высокопористых смесителей турбулентного типа, центрифуга, конкурентоспособность, гидроизоляция, армокаркас

OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF OBJECTS AND PROPERTIES OF POROUS CONCRETE

G.I. Chernousenko, D.V. Likhacheva*

Воронежский государственный технический университет Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

[©] Черноусенко Г.И., Лихачева Д.В., 2023

*Correspondling author: Likhacheva Diana Vladislavovna, E-mail:lixacheva2006@mail.ru

The work the operational characteristics of objects and properties of porous concrete, including structural material obtained by mixing cement, water, usually light fine and coarse aggregate and, necessarily, air-flowing additives that ensure the formation of increased porosity in cement dough and, subsequently, in cement stone during mixing of the components of the concrete mixture. The purpose of the study was to get acquainted with the results of the use of fine-grained porous concrete in construction.

Keywords: fine-grained-porous concrete, pores, thermal conductivity of highly porous turbulent type mixers, centrifuge, competitiveness, waterproofing, armokarkaz

Введение. Не вызывает сомнений, что эксплуатационные характеристики как отдельных элементов зданий и сооружений, так объекта в целом во многом зависят от свойств применяемых строительных материалов. Автор предлагает ознакомиться с результатами использования в строительстве мелкозернистых поризованных бетонов [1]. Эти результаты проявились на основе опытно-экспериментального строительства объектов различного назначения в разных регионах страны и ближнего зарубежья с 1993 года.

Но вначале следует дать некоторые материаловедческие пояснения. Мелкозернистый бетон — это бетон, приготовленный без заполнителя крупных и средних фракций [2]. Применялись пески карьерный, речной, морской, отсев горных пород мелких фракций и др. Были факты использования песка с примесью глинистых до 20%, с большой долей грунта, содержащего корни и стебли растений и др. Эти отклонения от требований СНИП, конечно же, были вынужденными и накладывали на автора дополнительные риски. Но факты есть факты. При производстве обычных бетонов пористость бетонов не желательна, её стараются минимизировать [3]. Но в любом бетоне есть поры различного происхождения: капиллярные, сферические или производственной формы вследствие применения специальных заполнителей, таких как пералезат перлита и

других при производстве лёгких бетонов. Заполнены эти поры могут быть водой, воздухом, углекислым газом, водородом, (что происходит с процессе производства газосиликатного материала) и др. Удельное количество газовых пор в объеме бетона определяет плотность этого материала, что в строительной практике связывают, прежде всего, с требованиями по теплопроводности [4]. Автор в построчных условиях в различных природно-климатических условиях из широкой вариативностью качества исходного сырья (цемент, песок, вода, воздухововлекающая добавка) приготавливая мелкозернистый поризованный бетон (МПБ) в диапазоне плотности от 200 до 2000 кг/м³.

Такой широкий диапазон плотностей достигался за счёт использования высокопористых (до 1000 об/ мин) смесителей турбулентного типа под избыточным давлением около 1 атм (барже-технология) с использованием процесса кавитации в приготавливаемой смеси. Замечу, что смесители в строительном производстве различных модификации имеют скорость вращения активной части в диапазоне 30-100 об/мин.

Но эффект применения такой «центрифуги» состоит в том, что в водной среде с добавлением поверхностно-активного вещества (ПАВ) происходит «очистка» поверхности зёрен песка, идёт дезагрегация цемента, переходят на более высокие энергетический уровень молекулы воздуха, что в итоге повышает физическую активность исходной смеси.

К тому же, идёт активное воздухововлечение в смесь с образованием воздушных пузырьков малых диаметров (<1мм). Известно, что, чем меньше диаметр сферического пузырька, тем выше его удельная поверхностная энергия. Поверхность такого пузырька имеет отрицательный заряд (при использовании анион при активных ПАВ), что обеспечивает не только равномерное распределение пузырьков по объему приготавливаемой смеси за счёт электростатического эффекта, но и минимизирует эффект «схлопывания» соседних пузырьков в один, большего диаметра. А так как поверхность песчинок и анионы разделившихся молекул воды также имеют отрицательные заряды, то создается в процессе перемешивания однородная изотропная структура смеси.

Избыточное давление в герметичном смесителе и встроенные внутри кавитационные камеры за счёт вариации времени перемешивания и количества добавки ПАВ позволяют управлять удельным количеством объема воздуха в ограниченном объеме смеси.

Контроль за плотностью полученной смеси автор осуществлял путём отбора из смесителя литровой банкой и, взвешивая банку с образцом на точных весах (сама банка в чистом виде весит около 400 г) [5].

Уже к третьему замесу удается оптимизировать рецептуру для приготовления смеси требуемой плотности.

При этом следует учитывать, что в дальнейшем при наборе прочности и достижении заметным множеством бетонной смеси равновесной влажности эксплуатационная плотность уменьшается на 20-30%. Это важно для расчёта параметров прочности, теплопроводности, трещиностойкости, нагрузок на грунты и др.

Особо отмечу важнейший факт, что для предлагаемых автором мелкозернистых поризованных смесей не применяемые требования СНИП и рекомендации бетоновидов по параметру водоцементного отношения (В/ц. от 0,25 до 0,9). Автор для своих составов варирует В/ц в диапазоне от 1,0 до 5,0. Такое большое количество воды затворения, по мнению автора, требуется не сколько для «смачивания» зерен цемента и заполнителя, а в основном для формирования водной оболочки — воздушных пузырьков (чем меньше требуемая плотность смеси, тем больше расход воды). О размерах, структуре и свойствах воздушного пузырька, главного элемента в технологии получения поризованных бетонов автор ранее изложил свою гипотезу в одной из статей. Именно это придает МПБ особые свойства и делает его универсальным строительным материалами как искусственного, так и природного происхождения при производстве широкого набора общестроительных и отдельных работ.

Причём конкурентоспособность МПБ обеспечивается по широкому набору параметров: материаловедческих, организационных, технологических при

выполнении отдельных работ и энергозатратных, а также экологических и конечно же, экономических.

Претензия на «универсальность» состоит, прежде всего, в том, что из него можно исполнять все элементы зданий и сооружений любого назначения – от фундамента до крыши. При этом фундаменты и цоколь не требуют дополнительной гидроизоляции даже при эксплуатации в водонасыщенных грунтах. Повышенная влагостойкость МПБ объясняется тем, что в структуре бетона мало капиллярных каналов, по которым в обычных бетонах свободная вода легко мигрирует через массив любой толщины даже при малом гидростатическом давлении. В нашем бетоне преобладает закрытая сферическая структура пор. К тому же из каждого пузырька в межпоровое пространство выходит гидрофильный «хвостик» молекулы ПАВ, на котором нанизаны молекулы так называемой «связанной» воды. Влаге извне просто трудно проникать во внутреннюю структуру смеси, так как воды, там и так более чем достаточно. Эти связанные молекулы могут участвовать в процессе гидратации зёрен цемента годы и десятилетия. В результате этих молекул воды хватает на 100%-е использование энергетики зерна цемента в процессе гидратации, а также для последующей реструктуризации кристаллогидратной матрицы в сторону «энергетической ямы», т. е повышение структурной прочности известные факты значительного превышения расчётных значений кубиковой прочности в образцах, изготовленных из поризованной смеси.

Имеется много объектов с исполнением монолитных перекрытий и крыши разной конфигурации, которые по общей массе не тяжелее деревянных. Теплозащита ограждающих стен оптимизируется для любого природно-климатических регионов путём сочетания толщины и плотности. Облегчение массы объекта примерно вдвое повышает не только сейсмостойкость, но также огнестойкость и экологичность жизненного пространства.

Несмотря на высокий В/ц, МПБ имеют высокий уровень морозостойкости не ниже F>300. Использование автором морской воды для приготовления сме-

сей не подтвердило опасений строителей и ученых бетоноведов по негативным эффектам.

Интерес к бетонам на морской воде проявили представители Японии. В 2020 году автор в г. Севастополе провел для их делегации натурные эксперименты.

По предположению автора, морская вода минимизирует свое агрессивное воздействие, если береговые объекты будут исполнены из смеси на морской воде [6]. Да к тому же, если использовать для создания армокаркаса в конструкциях полимерную арматуру. Но кто закажет и профинансирует натурный эксперимент и лабораторные исследования, которые могут дать ответы на злободневные вопросы?

Актуальной является тема строительства на вечной мерзлоте, МПБ не только материал, облегчающий объект, но и термоизолирующий, что позволяет минимизировать нежелательные эффекты от подтаивания грунта под строением или магистралью [7]. К тому же автор имеет многократный положительный опыт заливки несущих элементов при положительных и отрицательных температурах (свежезалитый массив смеси на замерзание) без существенных негативных последствий.

МБП хорошо защищает металлическую арматуру от коррозии, что гарантирует высокую надёжность и долговечность конструкций. Причём эффект более высокий при использовании более ржавой арматуры. Автор объясняет это тем, что исходная ржавчина в процессе гидратации формирует такие кристаллогидраты, которые коркой облегают поверхность чистого металла и тем самым защищают толщину металлических стержней от проникновения влаги и, естественно, коррозии.

Добавление в смесь микрофибры повышает не только прочность бетона на сжатие, но и на деформации. Известно, что обычный мелкозернистый бетон имеет недостаток — высокую структурную подвижность [8]. Использование фибры позволяет минимизировать этот недостаток, да и к тому же наши МПБ приобретают упруго-пластичные свойства (как резина). Автор имеет факты со-

оружения подпорных стен и других конструкций, которые под нагрузкой сильно изгибались, но без образования при этом видимых трещин массивы бетона. Автор этот положительный эффект объясняет тем, что в процессе гидратации смеси вокруг каждой нити определённой длины и толщины кристаллогидраты формируются ввиде трубки. Фибра, имеющая на поверхности отрицательный заряд, равномерно распределяется по объемам заметного массива по законам электростатики, поэтому равномерно распределённыепо объему и хаотично направленные «трубки» повышают устойчивость всей структуры к внешним деформирующим нагрузкам.

Высокая технологическая эффективность предлагаемых автором решений подтверждается возможностью возведения объектов малой и средней этажности без использования крановой техники, что существенно снижает затраты по статье «Машины и механизмы». Автор имеет опыт доставки смесей к месту укладки на другом берегу речки, на удаление до 200 м и на высоту более 20 м. Обеспечивалось это по пожарным рукавам за счёт избыточного давления в смесителе при транспортировке смеси до 5 атм. (пневмотранспортировка).

МБП имеет широкие перспективы для ряда отдельных работ (выравнивающая штукатурка, стяжки под полы) и ремонтно-восстановительных (фундамент, стены, лёгкие перекрытия, мансардные этажи) утепление и герметизация перекрытий на чердаках и др.

В дополнение к изложенному отмечу, простоту и надёжность техники и опалубочной системы составляющих основу строительной системы «Монопор», а также доступность проектно-конструкторских и технологических решений, наработанных автором за три десятилетия опытно-экспериментального строительства. Обобщающим показателем перспективности предлагаемых разработок является экономическая эффективность.

Достигнутый и многократно подверженный уровень себестоимости при выполнении различных общестроительных работ составляет не более стоимости 1 тонны цемента на 1 м³ к приготовленной и долитой смеси. При строи-

тельстве жилых домов себестоимость 1 м^2 полезной площади варировалась от $100 \text{ до } 200 \text{ $/\text{м}}^2$ (без отделки, больше уровней - меньше затраты на 1 м^2).

В регионах, где нет развитой стройиндустрии, транспортные и кадровые проблемы и прочее, а строить надо - авторские разработки, опыт обучения бригад могут быть очень полезны.

Заключение. В завершении хочу заявить следующее. Автор много занимался монолитным строительством на цементном вяжущем. Но в дополнение занимался со своим партнёром и коллегой по экспериментировании и строительстве Цыплаковым Алексеем (военный врач по образованию) вопросами получения и применения поризованных смесей на гипсовом вяжущем. Много построенных объектов, варианты технологий производства штучных строительных материалов (лёгких пазогребневых стеновых панелей) с хорошими показателями прочности, влаго и морозостойкости при высоких уровнях водозатворная и многое другое заслуживают пристального внимания учёных, специалистов-строителей, проектировщиков и, конечно же, заказчиков продукции строительного производства. Воронежский ВУЗ владеет исходным базовым патентом на строительную систему «Монопор». Поэтому руководству, учёные и специалисты строительного профиля готовы принять и рассмотреть любые заявления о предложения от ознакомившихся из заинтересованных в изложенных в данной статье результатах.

Автор-разработчик технологий строительной системы «Монопор», иностранный член академии строительства Украины Черноусенко Григорий Иванович. 19.09.2023г.

Список литературы

1. Патент № 2097363 С1 Российская Федерация, МПК С04В 38/10, С04В 40/00, Е04В 1/04. Сырьевая смесь для получения поризованного бетона, способ приготовления сырьевой смеси для получения поризованного бетона, способ изготовления конструкций из поризованного бетона и способ возведения зда-

ний: № 96117150/03: заявл. 14.08.1996: опубл. 27.11.1997 / А.Л. Хохлов. – EDN OSPEXW.

- 2. Черноусенко Г.И. О структурообразовании поризованного бетона. // Новые исследования в материаловедении и экологии. Сб. науч. ст. Выпуск 5. СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2005; Черноусенко Г.И. Особенности твердения поризованного мелкозернистого бетона при отрицательных температурах // Новые исследования в материаловедении и экологии. Сб. науч. ст. Выпуск 5. СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2005.
- 3. Зоткин, А.Г. Формирование воздушной пористости в мелкозернистом бетоне / А.Г. Зоткин // Технологии бетонов. 2019. № 1-2(150-151). С. 20-24. EDN YTYDLV.
- 4. Золотарева, Н.Л. Факторы управления стабильностью газовой фазы при формировании структуры поризованных бетонов: специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Золотарева Наталия Леонидовна. Воронеж, 2007. 20 с. EDNNIWGOV.
- 5. Перцев, В.Т. Эффективные технологии производства и практического применения поризованных бетонов / В.Т. Перцев, Г.И. Черноусенко // Технологии бетонов. 2010. N 9-10(50-51). C. 50-52. EDN NSSARD.
- 6. Строительство формирование среды жизнедеятельности: Сборник трудов Семнадцатой Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 23—25 апреля 2014 года. Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2014. 1215 с. ISBN 978-5-7264-0875-0. EDN SNDEAL.
- 7. Ферингер, А.Б. Проектирование и строительство на вечной мерзлоте / А.Б. Ферингер // Гидротехническое строительство. -2008. -№ 2. -ℂ. 25-29. EDN ILGMWP.

8. Белова, Т.К. Технико-экономическая эффективность применения наномодифицированной микрофибры для цементных покрытий / Т.К. Белова // Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов: Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию Института строительства и архитектуры ПГТУ, Йошкар-Ола, 15 мая 2019 года. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2019. – С. 190-196. – EDN KDYIYM.

References

- 1. Patent No. 2097363 C1 Russian Federation, IPC C04B 38/10, C04B 40/00, E04B 1/04. Raw mixture for obtaining porous concrete, method of preparation of raw mixture for obtaining porous concrete, method of manufacturing structures from porous concrete and method of erecting buildings: No. 96117150/03: application 14.08.1996: publ. 27.11.1997 / A. L. Khokhlov. EDN OSPEXW.
- 2. Chernousenko G. I. On the structure formation of porous concrete. // New research in Materials science and ecology. Collection of Scientific Articles Issue 5. St. Petersburg: St. Petersburg State University of Railways, 2005; Chernousenko G. I. Features of hardening of porous fine-grained concrete at negative temperatures. // New research in Materials science and ecology. Collection of scientific Articles Issue 5. St. Petersburg: St. Petersburg State University of Railways, 2005/
- 3. Zotkin, A.G. Formation of air porosity in fine-grained concrete / A.G. Zotkin // Technologies of concretes. 2019. № 1-2(150-151). P. 20-24. EDN YTYDLV.
- 4. Zolotareva, N.L. Factors of controlling the stability of the gas phase in the formation of the structure of porous concrete: specialty 05.23.05 «Building materials and products»: abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Zolotareva Natalia Leonidovna. Voronezh, 2007. 20 p. EDN NIWGOV.

- 5. Pertsev, V.T. Effective technologies of production and practical application of porous concrete / V.T. Pertsev, G.I. Chernousenko // Technologies of concrete. 2010. № 9-10(50-51). P. 50-52. EDN NSSARD.
- 6. Construction formation of the living environment: Proceedings of the Seventeenth International Interuniversity Scientific and Practical Conference of Students, Undergraduates, postgraduates and Young Scientists, Moscow, April 23-25, 2014. Moscow: National Research Moscow State University of Civil Engineering, 2014. 1215 p. ISBN 978-5-7264-0875-0. EDN SNDEAL.
- 7. Feringer, A. B. Design and construction on permafrost / A. B. Feringer // Hydrotechnical construction. 2008. No. 2. P. 25-29. EDN ILGMWP.
- 8. Belova, T.K. Technical and economic efficiency of the use of nanomodified microfiber for cement coatings / T.K. Belova // Actual problems of construction and road complexes: Materials of the international scientific and technical conference dedicated to the 50th anniversary of the Institute of Construction and Architecture, Yoshkar-Ola, May 15, 2019. Yoshkar-Ola: Volga State Technological University, 2019. pp. 190-196. EDN KDYIYM.

Черноусенко Григорий Иванович — инженер дорожно-транспортного факультета Воронежского государственного технического университета

Лихачева Диана Владиславовна — студент 1 курса дорожно-транспортного факультета Воронежского государственного технического университета

ДИАГНОСТИКА МАТЕРИАЛОВ

543.544:663.51

ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ФУГАТА БАРДЫ В ПОИСКЕ ПУТЕЙ ЕГО КОНВЕРСИИ

 $H.B.\ Шелехова^1,\ O.Б.\ Рудаков^{2*},\ K.К.\ Полянский^3,\ B.Т.\ Перцев^2,\ A.Р.\ Чогут^2$

¹Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии, ВНИИПБТ - филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи»,

Российская Федерация, 109240, г. Москва, Устьинский пр., 2/14c1

²Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября,84

³Воронежский филиал Российского экономического университета
имени Г.В. Плеханова,

Российская Федерация, 394035, г. Воронеж, ул. Карла Маркса, 67А

*Адрес для переписки: Рудаков Олег Борисович, E-mail: orudakov@cchgeu.ru

Перспективными методами для изучения химического состава барды являются хромато-масс-спектрометрия, газовая хроматография и капиллярный электрофорез, совместное применение которых позволяет глубоко изучить процессы переработки и конверсии фугата барды в наиболее ценные продукты, такие как биогаз, биодизель, кормовые дрожжи и другие биопродукты. Детальное знание химического состава фугата барды также поможет в разработке новых методов его переработки и повышении эффективности этих процессов. В ходе работы проведены исследования образцов фугата барды методом капиллярного электрофореза, газовой хроматографии с пламенно-ионизационным и масс-селективным детектированием. Получены новые экспериментальные данные о химическом составе фугата барды, которые позволяют разрабатывать новые способы утилизации отходов спиртовой промышленности. С применением метода газовой хроматографии с масс-селективными детектировании

[©] Шелехова Н.В., Рудаков О.Б., Полянский К.К., Перцев В.Т., Чогут А.Р., 2023

ем в исследуемых образцах фугата барды с высокой степенью достоверности (97% и 98%) идентифицированы уксусная кислота и 2-фенилэтанол. Методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектированием экспериментально подтверждено присутствие целевых аналитов, установлены времена удерживания, характерные для них и количественные соотношения в фугате. Методом капиллярного электрофореза обнаружены неорганические катионы и анионы органических и неорганических кислот в диапазоне массовых концентраций 33-4620 мг/дм³. Проведенные исследования могут служить основой для разработки аттестованных методик определения состава летучих органических примесей в фугате барды методами газовой хроматографии с масс-селективным и пламенно-ионизационным детектированием.

Ключевые слова: фугат барды, отходы спиртового производства, хромато-массспектрометрия, газовая хроматография, капиллярный электрофорез, катионы, анионы, летучие органические примеси

CHROMATOGRAPHIC STUDY OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF DISTILLER'S GRAINS FUGATE IN SEARCH OF WAYS TO CONVERT IT

N.V. Shelekhova¹, O.B. Rudakov*², K.K. Polyansky³, V.T. Pertsev², A.R. Chogut²

¹All-Russian Research Institute of Food Biotechnology,

VNIIPBT - Branch of Federal Research Center for Nutrition,

Biotechnology and Food Safety,

Russian Federation, 109240, Moscow, 2/14c1

²Voronezhskiy State Technical University,

Russian Federation, 394006, Voronezh, st. 20-letiya Oktyabrya, 84

³Voronezh Branch of the Plekhanov Russian University of Economics,

Russian Federation, 394035, Voronezh, Karl Marx St., 67A

*Address for correspondence: Rudakov Oleg B., E-mail: orudakov@cchgeu.ru

Promising methods for studying the chemical composition of barda are chromatographymass spectrometry, gas chromatography and capillary electrophoresis, the combined use of which makes it possible to study in depth the processes of processing and conversion of barda fugate into the most valuable products, such as biogas, biodiesel, feed yeast and other biological products. Detailed knowledge of the chemical composition of the barda fugate will also help in the development of new methods of its processing and increase the efficiency of these processes. In the course of the work, studies of samples of barda fugate were carried out by capillary electrophoresis, gas chromatography with flame ionization and mass selective detection. New experimental data on the chemical composition of the barda fugate have been obtained, which make it possible to develop new ways of recycling alcohol industry waste. Using the method of gas chromatography with massselective detection, acetic acid and 2-phenylethanol were identified with a high degree of reliability (97% and 98%) in the studied samples of barda fugate. By the method of gas chromatography with flame ionization detection, the presence of target analytes was experimentally confirmed, retention times, characteristic for them and quantitative ratios in the fugate were established. Inorganic cations and anions of organic and inorganic acids were detected by capillary electrophoresis in the range of mass concentrations of 33 - 4620 mg/dm3. The conducted studies can serve as a basis for the development of certified methods for determining the composition of volatile organic impurities in the barda fugate by gas chromatography with mass-selective and flame ionization detection.

Keywords: bard's fugate, alcohol production waste, chromatography-mass spectrometry, gas chromatography, capillary electrophoresis, cations, anions, volatile organic impurities

Барда - побочный продукт спиртового производства, образующийся в результате перегонки зрелой бражки, содержащий нерастворимую часть исходного пищевого сырья и дрожжевую биомассу [1], являющуюся основным по объему обременительным отходом для предприятий. При производстве 1 декалитра этилового спирта ректификованного из зернового сырья образуется до 13 декалитров барды. Отсутствие на предприятиях спиртовой отрасли в 90-х годах очистных сооружений должного уровня создавало угрозу для окружающей среды [2]. Поэтому, на государственном уровне, были приняты меры, в частности, утвержден Федеральный закон «О государственном регулировании производства и оборота этилового спирта, алкогольной и спиртосодержащей продукции и об ограничении потребления алкогольной продукции» от 22.11.1995 № 171-ФЗ, обязывающий спиртовые заводы обеспечить внедрение рациональных технологий переработки спиртовой барды. Переработка барды на спиртовых заво-

дах в РФ регламентирована приказом Федеральной службы по регулированию алкогольного рынка от 17 декабря 2020 г. N 400 «Об утверждении порядка полной переработки и утилизации барды (основного отхода спиртового производства) на очистных сооружениях и перечней соответствующего технологического оборудования».

Переработка барды требует значительных капитальных вложений и высоких эксплуатационных затрат, однако, рациональное использование барды позволяет снизить экологические риски и повысить рентабельность спиртового производства [3-5]. В целях снижения выхода барды разрабатываются ресурсосберегающие технологии, однако задача ее рациональной переработки попрежнему остается актуальной [6, 7]. Следует отметить, что барда является не только побочным продуктом производства, но и потенциально ценным вторичным ресурсом, обогащенным белком и различными биологически-активными соединениями, образующимися в процессе брожения [8-9].

В мировой практике накоплен значительный опыт по способам и технологиям переработки отходов бродильных производств. Основными способами конверсии барды являются производство сухой барды, выращивание дрожжеподобных грибов и выработка сухих кормовых дрожжей, получение биогаза [10]. Сухая послеспиртовая барда — ценное белковое сырье, которое обладает высокой питательной ценностью и не уступает многим видам кормов растительного происхождения. Она содержит значительное количество белка, а также витаминов, минералов и других питательных веществ. Благодаря своему составу, сухая барда может быть использована в качестве корма для различных видов животных и рыб. На территории РФ на спиртовых заводах барду в основном перерабатывают на гранулированные комбикорма для скота. Данный способ конверсии барды является экологически чистым и экономически эффективным решением переработки отходов спиртового производства. Исследованиям в данном направлении посвящены многочисленные публикации [11-15].

Проблему полной переработки барды усложняют такие факторы, как: невозможность длительного хранения, значительные транспортные расходы,

энергоемкость сушки [1,3,7]. С целью снижения энергозатрат барду перерабатывают с использованием различных штаммов кормовых дрожжей. Поскольку барда содержит лишь незначительное количество субстрата, ассимилируемого дрожжами, и не может являться полноценным субстратом для выращивания биомассы, необходимо ее обогащение питательными веществами, например фильтратом сусла [16,17]. Однако такой способ переработки требует значительных капитальных и эксплуатационных вложений, и не рентабелен для заводов с малой производительностью. Известен способ переработки барды в сухой кормовой продукт, основанный на отделении жидкой фазы — фугата посредством мембранных технологий, что снижает энергозатраты, но не позволяет обеспечивать высокую производительность.

Одним из наименее затратных способов утилизации барды является ее использование в качестве жидкого органического удобрения [18,19]. Однако несмотря на то, что барда относится к малоопасным отходам, ее негативное воздействие на окружающую среду требует жесткого контроля. Предпринимались попытки использования барды в мелиорации для укрепления земель, которые также не обеспечивали ожидаемую эффективность. Известен способ утилизации барды, основанный на отгонке воды и сжигании сухого остатка. Образующаяся при этом зола может быть использована в качестве удобрения, либо в качестве компонента строительных материалов [18].

В соответствии с требованиями Федерального закона № 171-ФЗ статья 8 пункт 5 «Производство этилового спирта, технологией производства которого предусматривается получение барды (основного отхода спиртового производства), допускается только при условии ее полной переработки и (или) утилизации на очистных сооружениях». Известно, что при переработке послеспиртовой барды, после разделения на фракции образуется дробина и фугат. Фугат получают центрифугированием барды с последующей декантацией жидкой фазы, либо используют шнековый сепаратор, работа которого заключается в разделении барды на жидкую и твердую фракции. Твердую фракцию используют для дальнейшей переработки на корм скоту или рассматривают как субстрат для

кормовых дрожжей, а жидкая фракция — фугат является проблемным отходом. Выпаривание или использование собственных очистных сооружений для утилизации фугата барды приводит к значительным затратам, как и транспортировка на очистные сооружения. По Федеральному классификационному каталогу отходов (классификации ФККО), спиртовая барда относится к 5-му классу опасности, и ее перевозка требует соблюдения особых правил и норм. Утечка перевозимого отхода при транспортировке, особенно в черте населенных пунктов, может повлечь значительные штрафные санкции и серьезные негативные последствия для экологии [2].

Научное сообщество проявляет значительный интерес к исследованиям возможных путей расширения конверсии барды как ценного вторичного продукта [20-26]. Анализ известных технических решений, основанный на изучении научных и патентных источников, свидетельствует о недостаточной разработанности этой важной задачи. Многочисленные научные исследования направлены на изучение химического состава послеспиртовой барды. Установлено, что химический состав барды характеризуется наличием фосфора, калия, натрия, магния, кальция и других биогенных элементов, в жидкой фазе барды содержатся белки, аминокислоты и витамины, анализ углеводного состава барды выявил наличие мальтозы, глюкозы, арабинозы [8, 9, 27]. Присутствие биогенных элементов, аминокислот и витаминов позволяет рассматривать барду в качестве возможного источника биологически активных веществ при производстве фармацевтического сырья.

Известно, что химический состав барды может варьировать в зависимости от используемой расы дрожжей, исходного сырья и его ферментативной обработки. Следует отметить, что ионный состав и состав летучих органических примесей фугата барды исследован недостаточно, в этой связи, более детальное его изучение обладает особой актуальностью и представляет несомненный научно-практический интерес.

Цель исследования. С применением методов газовой хроматографии с пламенно-ионизационным и масс-спектрометрическим детектором, капилляр-

ного электрофореза с кондуктометрическим детектором исследовать химический состав фугата барды для поиска путей оптимизации ее конверсии.

Исследования проводили с использованием газового хроматографа, модель 8890, оснащенного масс-селективным детектором GC/MSD 5977B (Agilent Technologies, США). Принцип работы ГХ-МС заключается в хроматографическом разделении определяемых соединений, их ионизации с последующим детектированием ионов по величине отношения массы к заряду. В качестве подвижной фазы использовали гелий марки 60 с объемной долей гелия не менее 99,999%. Исходные режимные параметры: температура испарителя 160 °C, начальная температура термостата 85 °C, изотерма 6-10 мин, 10 °C/мин скорость нагрева до температуры 240 °C коэффициент деления потока 20:1, скорость потока газа-носителя 0.8 мл/мин. Регистрацию масс-спектров проводили в режиме полного сканирования в диапазоне масс 20-400 а.е.м. Режим ионизаэлектронным ударом 70 эВ. Полученные результаты ЦИИ массспектрометрического анализа обрабатывали в ручном режиме с применением программного обеспечения входящего в состав рабочей станции, для расшифровки спектров использовали спектральную библиотеку NIST Mass Spectral Library.

Для идентификации целевых аналитов по временам удерживания и количественного определения применяли газовый хроматографа модель 8890, оснащенный пламенно-ионизационным детектором (Agilent Technologies, США), принцип работы которого основан на регистрации ионов, образующихся вследствие термической ионизации. Режимные параметры: газ-носитель азот квалификации о.ч., температура испарителя 150 °C, температура детектора 230 °C, температура термостата колонок 75-220 °C со скоростью нагрева 15 °С/мин. В качестве неподвижной фазы использовали хроматографическую капиллярную колонку НР-FFAP (США) с нанесенной жидкой фазой – полиэтиленгликолем и нитротерефталевой кислотой в качестве модификатора, размеры колонки

 $50~\text{m} \times 0.32~\text{mm} \times 0.50~\text{mkm}$.

Исследование нелетучих компонентов фугата барды проводили с применением системы капиллярного электрофореза Agilent 7100 с кондуктометрическим детектированием (Agilent Technologies, США). Метод капиллярного электрофореза основан на миграции заряженных частиц в электрическом поле. Режимные параметры устанавливали в соответствии с ГОСТ Р 55761-2013 «Замесы, сусло, бражка из пищевого сырья. Определение массовой концентрации катионов, анионов неорганических и органических кислот методом капиллярного электрофореза». Для взятия навесок использовали весы аналитические GR200 (Analog & Digital, Япония) с погрешностью не более $\pm 0,0003$ г. Для разделения исследуемых образцов на фракции применяли лабораторную центрифугу СМ-70M.07 (ELMI, Латвия) при 2000 об/мин в течении 30 секунд с последующей декантацией жидкой фазы.

Объектами исследования служили образцы фугата послеспиртовой барды, полученные в результате биокаталитической и биосинтетической конверсии зернового сырья в этанол в производственных условиях спиртовых заводов при переработке пшеницы урожая 2023 г. Идентификация целевых соединений выполнена на примере 2-х образцов фугата барды, полученных при переработке зерна пшеницы со следующими характеристиками (Табл.1).

Номер

образца

1

Сорная

примесь, %

2.1

1.7

6.3

4.7

Характеристика пшеницы

Стекловидность, % Зерновая Влажность Условная примесь, % зерна, % крахмалистость, % 31 13.0 54.4 13.3 55.5 34

Таблица 1

Для приготовления градуировочных растворов использовали реактивы квалификации «х.ч.» (Fluka). Готовили градуировочные растворы, содержащие уксусную кислоту и 2-фенилэтанол, объемной долей веществ 0.01%, 0.005% и 0.001%. Каждый градуировочный раствор анализировали не менее, чем в 2-х повторностях, на основании полученных результатов проводили построение градуировочных графиков, коэффициент корреляции R²=0.99.

При производстве пищевого этанола, на стадии ректификации, кроме целевого продукта — этилового спирта, образуются отходы спиртового производства, в том числе и послеспиртовая барда, переработка и утилизация которой является актуальной проблемой, которая несмотря на многообразие способов переработки по-прежнему остается острой. Анализ мирового опыта переработки барды показывает, что это ценный сырьевой ресурс, рациональное использование которого может принести значительные экономические и экологические преимущества. В процессе переработки барды можно получить различные ценные продукты, которые могут быть использованы в пищевой, кормовой и фармацевтической промышленности. В целях расширения области использования барды необходимо более полно исследовать ее химический состав. Повышение информативности физико-химического анализа барды предполагает создание новых и совершенствования известных методов анализа.

Важно подчеркнуть, что барда образуется как побочный продукт переработки бражки. Известно, что зрелая бражка, получаемая в ходе технологического процесса сбраживания осахаренного сусла, имеет сложный химический состав, который зависит от вида перерабатываемого сырья, ферментных препаратов, технологии и расы применяемых дрожжей, присутствия посторонней микрофлоры. Среди побочных метаболитов, синтезируемых в процессе жизнедеятельности дрожжами, применяемыми в технологии бродильных производств -Saccharomyces cerevisiae, главным образом превалируют высшие спирты, в меньших концентрациях присутствуют сложные эфиры, затем следуют органические кислоты, среди которых лидирующее место занимает уксусная кислота, что подтверждено многочисленными исследованиями. Образование дрожжами высших спиртов связано с азотным и углеводным обменами дрожжевых клеток. Кроме того, высшие спирты могут образоваться при дезаминировании и декарбоксилировании аминокислот [35-37].

Анализ научных и патентных источников по методам и техникам анализа, а также по близким к тематике исследованиям, направленным на изучение химического состава бражки из зернового сырья [24, 25, 29-34], позволил сфор-

мировать предварительный перечень веществ — кандидатов на идентификацию: уксусный альдегид, ацетон, этилформиат, этилацетат, метанол, 2-пропанол, этанол, 2-бутанол, 1-пропанол, 1-пропанол, изобутанол, изоамилацетат, 1-бутанол, изоамилол, 1-пентанол, этиллактат, гексанол, этилкаприлат, фурфурол, уксусная кислота, этилкапринат, этиллаурат, 2-фенилэтанол, характерных для бражки из зернового сырья.

Необходимо отдельно отметить достаточно высокую токсичность вышеперечисленных веществ и их негативное влияние на здоровье человека и объекты окружающей среды. Так, например, известно, что высшие спирты, к которым, в том числе относятся изоамилол, изобутанол и 1-пропанол, – горючие, легко воспламеняющиеся жидкости, обладающие острой токсичностью при вдыхании, обладающие специфической избирательной токсичностью. При вдыхании они вызывают раздражение верхних дыхательных путей, могут оказывать наркотический эффект, вызывают сонливость и головокружения [2,7].

Для исследования химического состава фугата послеспиртовой барды из зернового сырья были выбраны методы газовой хроматографии с массселективным и пламенно-ионизационным детектированием и метод капиллярного электрофореза. Следует отметить, что вышеперечисленные методы являются достаточно дорогостоящими и сложными, требующими высококвалифицированного персонала, специального оборудования и программного обеспечения [27]. Однако, их применение может быть оправдано благодаря возможности получить более точные и полные данные о химическом составе фугата барды, что поможет в разработке инновационных и эффективных решений для его переработки использования. Выбор масс-селективного, пламенноионизационного и кондуктометрического детектирования для идентификации обусловлен рядом факторов, включая цель исследования, чувствительность, специфичность, селективность и доступность перечисленных детекторов.

Метод газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектированием (ГХ-ПИД) является важным инструментом в аналитической химии для идентификации и количественного определения различных соединений. Метод

газовой хроматографии с масс-селективным детектированием (ГХ-МСД) — это аналитический метод, сочетающий газовую хроматографию и масс-спектрометрию, что позволяет одновременно разделять смесь на компоненты с помощью газовой хроматографии и определять массы и структуры этих компонентов с помощью масс-спектрометрии. В аналитической химии метод капиллярного электрофореза с кондуктометрическим детектированием (КЭ-КД) является мощным инструментом, обеспечивающим высокую эффективность разделения и чувствительность, сочетает преимущества капиллярного электрофореза и кондуктометрического детектирования для анализа различных аналитов [27, 28, 30].

С использованием метода газовой хроматографии с масс-селективным детектированием проведено исследование 2 образцов фугата барды из пшеницы, в котором идентифицированы уксусная кислота и 2-фенилэтанол (рис.1,2).

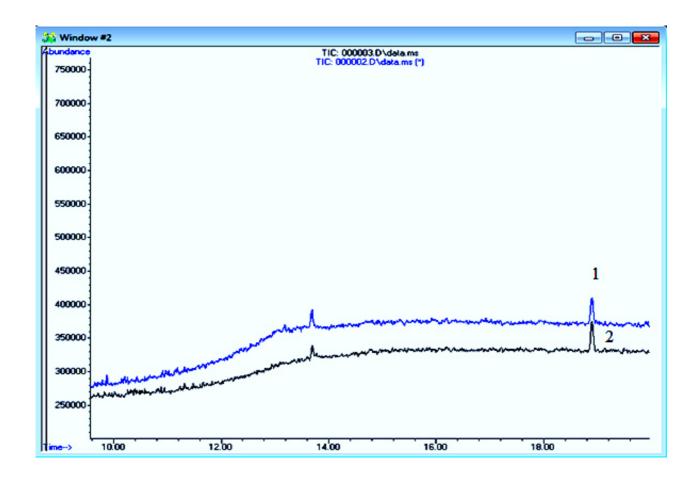


Рис. 1. Фрагмент хроматограммы фугата барды (образец 1 и 2), полученный методом ГХ с МСД. При t1=13.817 мин пик уксусной кислоты, при t2=19.207 мин пик фенилэтанола

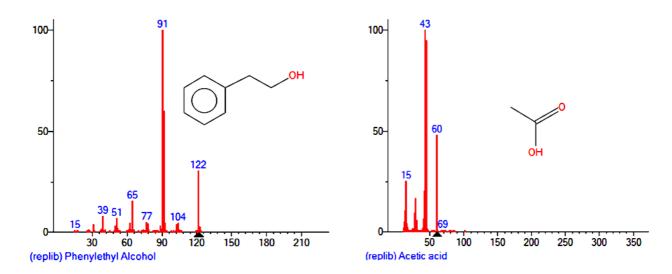


Рис. 2. Масс-спектр: а) уксусная кислота; б) фенилэтанол (библиотека NIST 20)

Уксусная кислота (CH₃COOH) образуется в частичного окисления этанол: $CH_3CH_2OH + O_2 \rightarrow CH_3COOH + H_2O$. Уксусная кислота, как известно, широко применяется в различных отраслях: в фармацевтике, химической и пищевой промышленности.

Фенилэтанол — это ароматическое органическое соединение, представляющее собой текучую вязкую жидкость без цвета с обжигающим вкусом и цветочным запахом, напоминающим аромат розы, с формулой $C_6H_5CH_2CH_2OH$, в природе содержится в различных эфирных маслах, найден в розовом и гвоздичном маслах. Фенилэтанол обладает цветочным ароматом, что делает его востребованным ингредиентом парфюмерной промышленности. Важно отметить, что фенилэтанол образуется в ходе спиртового брожения, его концентрация зависит от температуры сбраживания сырья, использованной расы дрожжей и количества дрожжевых клеток.

В целях подтверждения достоверности идентификации уксусной кислоты и фенилэтанола, а также определения их количественного содержания, дополнительно использовали метод газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектированием. Для построения градуировочных графиков готовили растворы объемной долей веществ 0.01 %, 0.005 % и 0.001 %. Идентификацию целевых аналитов проводили по временам удерживания, определе-

ние массовых концентраций методом абсолютной градуировки. Результаты проведенного эксперимента наглядно демонстрируют перспективность оценки химического состава фугата барды с применением метода газовой хроматографии и комбинации детекторов ПИД и МСД (табл. 2).

 Таблица 2

 Результаты хроматографического исследования барды

т сзультаты хроматографического исследования оарды						
Аналит	Идентификация		Массовая		Идентификация по	
	по временам		концентрация		масс-спектрам (метод	
	удерживания (метод ГХ-ПИД), мг/дм 3		(метод ГХ-ПИД), мг/дм 3		ГХ-МСД)	
					Совпадение масс-	
			спектров с NIST20,			
					%)	
	Образец	Образец	Образец №1	Образец №2	Образец	Образец
	№ 1	№2			№ 1	№2
уксусная	13.817	13.817	40.31±8.06	43.58±8.72	97	97
кислота						
2-	19.207	19.207	26.35±5.27	21.26±4.25	96	98
фенилэтанол						

Таким образом, в результате исследований, проведенных с применением метода газовой хроматографии экспериментально подтверждено, что ходе технологического процесса ректификации, после выделения этилового спирта из бражки, вместе с целевым продуктом — этиловым спиртом, отделяются и летучие примеси, некоторые примеси, а именно, уксусная кислота и 2-фенилэтанол остаются в фумигате.

С использованием метода капиллярного электрофореза исследован состав нелетучих компонентов фугата барды. Режимные параметры устанавливали в соответствии с ГОСТ Р 55761-2013. Показано, что образцы фугата барды содержат в своем составе широкий спектр ионов органической и неорганической природы (рис. 3).

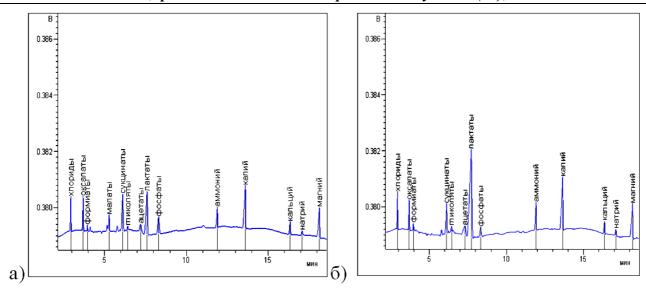


Рис. 3. Электрофореграмма фугата барды а) образец №1, б) образец №2

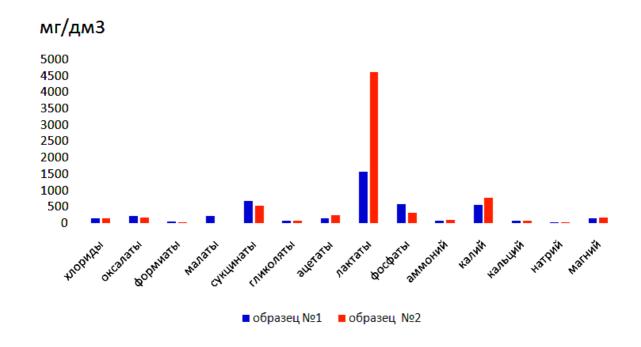


Рис. 4. Массовые концентрации идентифицированных ионов

Установлено, что суммарные массовые концентрации всех идентифицированных ионов, составляют для 1-го образца 4476,90 мг/дм³, для второго 7345,13 мг/дм³. Сравнительный анализ массовых концентраций идентифицированных ионов исследованных образцов показал, что они варьировали в широком диапазоне, при этом, для каждого идентифицированного иона получены сопоставимые значения. Исключение составляют значительные различия в мас-

совых концентрациях молочной кислоты (1573.18 мг/дм³) против 4617.36 мг/дм^3 .

Таким образом, комплексное использование методов ГХ-МС, ГХ-ПИД и капиллярного электрофореза позволяет установить качественный и количественный состав фугата барды. Проведенные исследования являются важным шагом в создании аттестованных методик, которые могут быть использованы в целях определения химического состава барды для контроля хода технологического процесса ректификации, а также в целях разработки новых способов утилизации отходов бродильных производств.

Проведенный литературный поиск позволил выявить и подтвердить несомненную актуальность поиска путей решения проблемы рациональной переработки отходов бродильных производств. Сделан вывод о том, что повышение информативности химического анализа фугата барды требует разработки новых и совершенствования известных методов анализа.

Показано, что перспективными методами для изучения летучих органических примесей и ионного состава барды является совместное использование метода газовой хроматографии с масс-селективным и пламенно-ионизационным детектированием и метода капиллярного электрофореза. Экспериментально подтверждено, что комбинирование вышеперечисленных методов обладает значительным потенциалом для определения не только качественного, но и количественного состава барды. В ходе проведенных исследований получены новые экспериментальные данные, которые могут быть использованы в научных исследованиях при разработке новых способов утилизации отходов спиртовой промышленности.

Перспектива дальнейших исследований - развитие направления повышения эффективности конверсии отходов спиртового производства - использования фугата барды в качестве пластификатора для формирования бетонных смесей, используемых для производства строительных материалов, с научнымобоснованием нормы и химического состава вносимого фугата барды.

Список литературы

- 1. Денщиков М.Т. Отходы пищевой промышленности и их использование. М.: Пищепромиздат, 1963. С. 200-202.
- 2. Долгов А.Н., Агафонов Г.В., Зуева Н.В. Основные экологические проблемы при утилизации отходов спиртового производства и пути их решения // Пиво и напитки. 2014. N04. С. 60-63.
- 3. Иноземцева С.Н., Евдокимов Н.С., Музычко Т.О. Оценка энергоэффективности современных способов переработки барды// Актуальные вопросы энергетики. 2019. Т. 1. № 1. С. 144-148.
- 4. Андросов А.Л., Елизаров И.А., Третьяков А.А. Промышленные технологии переработки спиртовой барды // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2010. Т. 16. № 4. С. 954-963.
- 5. Шевцов А.А., Дранников А.В., Муравьев А.С. Оптимизация процесса сушки послеспиртовой барды // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2013. № 4 (58). С. 22-25.
- 6. Зуева Н.В., Веретенников С.А., Лукинова И.Ю., Агафонов Г.В. Рациональное использование побочных продуктов спиртовой отрасли // В сборнике: Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение. Сборник научных статей и докладов VIII Международной научнопрактической конференции. Воронеж, 2022. С. 460-464.
- 7. Данильченко А.С., Ксандопуло С.Ю. Снижение экологической нагрузки спиртового производства за счет переработки послеспиртовой барды // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2017. № 7. С. 414-421.
- 8. Кайшева Н.Ш., Кайшев А.Ш., Ларский М.В. Послеспиртовая зерновая барда как фармацевтический источник биологически активных соединений// Химическая безопасность. 2021. T. 5. № 2. C. 96-113. DOI: 10.25514 / CHS. 2021.2. 20005
- 9. Кайшева Н.Ш., Кайшев А.Ш. Поверхностно-активные свойства послеспиртовой зерновой барды и выделенных из нее пектинов // Фармация и фар-

- макология. 2016. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/poverhnostno-aktivnye-svoystva-poslespirtovoy-zernovoy-bardy-i-vydelennyh-iz-nee-pektinov (дата обращения: 02.08.2023).
- 10. Кузнецов И.Н., Ручай Н.С. Анализ мирового опыта в технологии переработки послеспиртовой барды // Труды БГТУ. Сер. 4, Химия, технология органических веществ и биотехнология. -2010. № 18. С. 294-301.
- 11. Бузетти К.Д., Головачева Н.А., Иванов М.В. Применение сухой послеспиртовой барды в кормах свиноводческой отрасли // Аграрная наука. -2020. № 4. С. 25-27. DOI: 10. 32634/0869-8155-2020-337-4-25-27.
- 12. Чоманов У., Сарманкулов Т., Жонысова М., Ордабаева Г. Послеспиртовая барда и природный минерал в комбикормах для молодняка КРС // Комбикорма. -2020. -№ 9. C. 57-58. DOI: 10.25741/2413-287X-2020-09-3-116.
- 13. Шутяк О.В., Димчук А.В. Вплив кормової добавки «Жиромол» на молочну продуктивність корів. Журнал «Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка». Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2021. С. 71-76. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2021-1-9.
- 14. Кошак Ж.В., Гаддевская Н.Н., Дегтярик С.М. Физиологическое состояние карпа при использовании в рационе сухой зерновой послеспиртовой барды // В сборнике: Перспективные технологии аквакультуры. –Москва. 2021. С. 127-132.
- 15. Козинец А.И., Голушко О.Г., Надаринская М.А., Козинец Т.Г., Голушко А.В., Гринь М.С., Ларионова Н.В., Гонакова С.А. Барда сухая послеспиртовая в кормлении сельскохозяйственных животных // Рекомендации. Жодино, 2021.
- 16. Зуева Н.В., Агафонов Г.В., Чусова А.Е. Изучение фракционного состава белковых веществ в кукурузе, нативной послеспиртовой барде и фугате послеспиртовой барды // Производство спирта и ликероводочных изделий. − 2013. № 3. C. 43-45.
- 17. Кузнецов И.Н, Ручай Н.С., Лембович А.И., Сазановец М.А. Изменение состава послеспиртовой барды при анаэробной и ферментативной обработке //

- Труды БГТУ. Сер. 4, Химия, технология органических веществ и биотехнология. -2011. -№ 19. C. 289-295.
- 18. Ненайденко Г.Н., Сибирякова Т.В. Барда как удобрение // ВЗ. 2011. №4. URL: https://cyberleninka.ru /article/n/barda-kak-udobrenie (дата обращения: 02.08.2023).
- 19. Титова В.И., Питина И.А., Судаков Е.Ю. Влияние длительной утилизации барды на агроэкологическое состояние серой лесной почвы // International Agricultural Journal. 2019. Т. 62. № 4. С. 12. DOI: 10.24411/2588-0209-2019-10087.
- 20. Иноземцева С.Н., Евдокимов Н.С., Коншу А.В. К вопросу создания питательной среды на основе послеспиртовой барды для уменьшения экологичекой нагрузки // В сборнике: Безопасность городской среды. Материалы VII Международной научно-практической конференции. Минобрнаука России, ОмГТУ. Под общей редакцией Е.Ю. Тюменцевой. 2020. С. 123-127. DOI: 10.25741 / 2413-287X-2020-09-3-116.
- 21. Богданов Н.И. Способ и устройство для культивирования микроводорослей с использованием фугата послеспиртовой барды // Патент RU № 2786987 С 1. Опубликовано: 27.12.2022 Бюл. № 36.
- 22. Данилов В.А. Способ переработки послеспиртовой барды// Патент RU № 2556122 С1. Опубликовано: 10.07.2015 Бюл. № 19.
- 23. Кайшева Н.Ш., Кайшев А.Ш., Ларский М.В. Послеспиртовая кукурузная барда как фармацевтический источник получения азотосодержащих бетаинов // Химико-фармацевтический журнал. 2022. № 2. С.42-49. DOI: 10.30906 / 0023-1134-2022-56-2-42-49
- 24. Кайшева Н.Ш., Кайшев А.Ш., Микелов В.А., Сергеева Е.О., Калашникова С.А. Способ получения лекарственных средств азотосодержащих бетаинов гидрохлоридов на основе послеспиртовой кукурузной барды // Патент RU № 2736186 С1. Опубликовано: Опубликовано: 12.11.2020 Бюл. № 32.
- 25. Богданов Н.И. Способ культивирования планктонной хлореллы // Патент RU № 2685955 С 1. Опубликовано: 23.04.2019 Бюл. № 12.

- 26. Дзагуров Б.А., Фардзинова О.А., Калоев С.А. Применение бетонитов в качестве связующего материала при производстве гранул из сухой послеспиртовой барды // Эффективное животноводство. 2018. № 4 (143). С. 76-77.
- 27. Кайшева Н.Ш., Кайшев А.Ш., Микелов В.А., Гюльбякова Х.Н., Масловская Е.А. Химическое исследование бетаинов, выделенных из послеспиртовой барды // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. -2019. Т. 81. № 2 (80). С. 257-260. DOI: 10.20914 / 2310-1202-2019-2-257-260.
- 28. Buglass A.J. Handbook of alcoholic beverages: Technical, analytical and nutritional aspects. John Wiley & Sons; 2011. 1208 p. https://doi.org/10.1002/9780470976524.
- 29. Шелехова Н.В., Шелехова Т.М., Скворцова Л.И., Полтавская Н.В. Определение летучих органических примесей в виски методом газовой хромато-масс-спектрометрии // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 787-796. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2406
- 30. Шелехова Н.В. Экспресс-метод определения летучих органических примесей в спиртных дистиллированных напитках на основе сочетания ΓX / ПИД и ΓX / МСД / Сорбционные и хроматографические процессы. 2022. Т.22. № 1. С.58-68. https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2022.22/9021.
- 31. Рудаков О.Б., Шелехова Н.В., Рудаков Я.О., Селеменев В.Ф., & Харченко Г.Ю. (2022). Экспрессное определение метанола в спиртных напитках методом газовой хромато-масс-спектрометрии. Сорбционные и хроматографические процессы, 22(2), 116-125. https://doi.org/10.17308/sorpchrom. 2022.22/9214.
- 32. Спутник хроматографиста. Методы жидкостной хроматографии / О.Б. Рудаков [и др.]. Воронеж: Водолей, 2004. 528 с.
- 33. Рудаков О.Б. Никитина С.В. Тренды в аналитическом контроле качества питьевого этанола // Аналитика и контроль. -2017. Т. 21, № 3. С. 180-196. DOI: 10.15826 / analitika.2017.21.3.010.

- 34. Барановская В.Б., Медведевских М.Ю., Карпов Ю.А. Актуальные проблемы качества химического анализа. Аналитика и контроль. 2021. Т. 25. № 4. С. 273-279. DOI: 10.15826/ analitika.2021.25.4.005
- 35. Manshin D., Meledina T.V., Britvina T. [et al.] Comparison of the yeast Saccharomyces cerevisiae var. boulardii and top-fermenting brewing yeast strains during the fermentation of model nutrient media and beer wort. Agronomy Researchthis link is disabled. 2022. 20(3). P. 625–636. https://doi.org/ 10.15159/AR.22.066.
- 36. Meledina T.V., Davydenko S.G. Yeast Saccharomyces cerevisiae. Morphology, chemical composition, metabolism. St. Petersburg: ITMO University. 2015. 88 p.
- 37. Manoyan J., Gabrielyan L., Kozel N., Trchounian A. Regulation of biohydrogen production by protonophores in novel green microalgae Parachlorella kessleri / J Photochem Photobiol B: Biology /2019/ V. 199/ p. 111597.

Refrences

- 1. Denshchikov M.T. Othody pishchevoj promyshlennosti i ih ispol'zovanie. M.: Pishchepromizdat, 1963. P. 200-202.
- 2. Dolgov A.N., Agafonov G.V., Zueva N.V. Osnovnye ekologicheskie problemy pri utilizacii othodov spirtovogo proizvodstva i puti ih resheniya // Pivo i napitki. 2014. №4. –P. 60-63.
- 3. Inozemceva S.N., Evdokimov N.S., Muzychko T.O. Ocenka energoeffektivnosti sovremennyh sposobov pererabotki bardy// Aktual'nye voprosy energetiki. 2019. T. 1. № 1. P. 144-148.
- 4. Androsov A.L., Elizarov I.A., Tret'yakov A.A. Promyshlennye tekhnologii pererabotki spirtovoj bardy // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2010. T. 16. № 4. P. 954-963.
- 5. Shevcov A.A., Drannikov A.V., Murav'ev A.S. Optimizaciya processa sushki poslespirtovoj bardy//Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologij. − 2013. − № 4 (58). − P. 22-25.

- 6. Zueva N.V., Veretennikov S.A., Lukinova I.Y/U., Agafonov G.V. Racional'noe ispol'zovanie pobochnyh produktov spirtovoj otrasli // V sbornike: Prodovol'stvennaya bezopasnost': nauchnoe, kadrovoe i informacionnoe obespechenie. Sbornik nauchnyh statej i dokladov VIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Voronezh. 2022. P. 460-464.
- 7. Danil'chenko A.S., Ksandopulo S.Y/U. Snizhenie ekologicheskoj nagruzki spirtovogo proizvodstva za schet pererabotki poslespirtovoj bardy//Elektronnyj setevoj politematicheskij zhurnal «Nauchnye trudy KubGTU». − 2017. − № 7. − P. 414-421.
- 8. Kajsheva N.S.H., Kajshev A.S.H., Larskij M.V. Poslespirtovaya zernovaya barda kak farmacevticheskij istochnik biologicheski aktivnyh soedinenij// Himicheskaya bezopasnost'. 2021. T. 5. № 2. P. 96-113. DOI: 10.25514/ CHS. 2021. 2.20005.
- 9. Kajsheva N.S.H., Kajshev A.S.H. Poverhnostno-aktivnye svojstva poslespirtovoj zernovoj bardy i vydelennyh iz nee pektinov // Farmaciya i farmakologiya. 2016. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/poverhnostno-aktivnye-svoystva-poslespirtovoy-zernovoy-bardy-i-vydelennyh-iz-nee-pektinov (data obrashcheniya: 02.08.2023).
- 10. Kuznecov I. N., Ruchaj N.S. Analiz mirovogo opyta v tekhnologii pererabotki poslespirtovoj bardy // Trudy BGTU. Ser. 4, Himiya, tekhnologiya organicheskih veshchestv i biotekhnologiya. 2010. № 18. P. 294-301.
- 11. Buzetti K.D., Golovacheva N.A., Ivanov M.V. Primenenie suhoj poslespirtovoj bardy v kormah svinovodcheskoj otrasli// Agrarnaya nauka. 2020. № 4. P. 25-27. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-337-4-25-27.
- 12. CHomanov U., Sarmankulov T., Zhonysova M., Ordabaeva G. Poslespirtovaya barda i prirodnyj mineral v kombikormah dlya molodnyaka KRS // Kombikorma. 2020. № 9. P. 57-58. DOI: 10.25741/2413-287X-2020-09-3-116.
- 13. SHutyak O.V., Dimchuk A.V. Vpliv kormovoï dobavki «ZHiromol» na molochnu produktivnist' koriv. ZHurnal «Podil's'kij visnik: sil's'ke gospodarstvo, tekhnika, ekonomika». Kam'yanec'-Podil's'kij: PDATU, 2021. P. 71-76. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2021-1-9.

- 14. Koshak Z.H.V., Gaddevskaya N.N., Degtyarik S.M. Fiziologicheskoe sostoyanie karpa pri ispol'zovanii v racione suhoj zernovoj poslespirtovoj bardy//V sbornike: Perspektivnye tekhnologii akvakul'tury. Moskva. 2021. P. 127-132.
- 15. Kozinec A.I., Golushko O.G., Nadarinskaya M.A., Kozinec T.G., Golushko A.V., Grin' M.S., Larionova N.V., Gonakova S.A. Barda suhaya poslespirtovaya v kormlenii sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh //Rekomendacii. Zhodino, 2021.
- 16. Zueva N.V., Agafonov G.V., CHusova A.E. Izuchenie frakcionnogo sostava belkovyh veshchestv v kukuruze, nativnoj poslespirtovoj barde i fugate poslespirtovoj bardy // Proizvodstvo spirta i likerovodochnyh izdelij. − 2013. − № 3. − P. 43-45.
- 17. Kuznecov I.N, Ruchaj N.S., Lembovich A.I., Sazanovec M.A. Izmenenie sostava poslespirtovoj bardy pri anaerobnoj i fermentativnoj obrabotke // Trudy BGTU. Ser. 4, Himiya, tekhnologiya organicheskih veshchestv i biotekhnologiya. 2011. № 19. P. 289-295.
- 18. Nenajdenko G.N., Sibiryakova T.V. Barda kak udobrenie // V.Z. 2011. №4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/barda-kak-udobrenie (data obrashcheniya: 02.08.2023).
- 19. Titova V.I., Pitina I.A., Sudakov E.YU. Vliyanie dlitel'noj utilizacii bardy na agroekologicheskoe sostoyanie seroj lesnoj pochvy // International Agricultural Journal. 2019. T. 62. № 4. P. 12. DOI: 10.24411/2588-0209-2019-10087.
- 20. Inozemceva S.N., Evdokimov N.S., Konshu A.V. K voprosu sozdaniya pitatel'noj sredy na osnove poslespirtovoj bardy dlya umen'sheniya ekologichekoj nagruzki // V sbornike: Bezopasnost' gorodskoj sredy. Materialy VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Minobrnauka Rossii, OmGTU. Pod obshchej redakciej E. YU. Tyumencevoj. 2020. P. 123-127. DOI: 10.25741/2413-287X-2020-09-3-116.
- 21. Bogdanov N.I. Sposob i ustrojstvo dlya kul'tivirovaniya mikrovodoroslej s ispol'zovaniem fugata poslespirtovoj bardy//Patent RU № 2786987 S1. Opublikovano: 27.12.2022 Byul. № 36.

- 22. Danilov V.A. Sposob pererabotki poslespirtovoj bardy// Patent RU № 2556122 C1. Opublikovano: 10.07.2015 Byul. № 19.
- 23. Kajsheva N.S.H., Kajshev A.S.H., Larskij M.V. Poslespirtovaya kukuruznaya barda kak farmacevticheskij istochnik polucheniya azotosoderzhashchih betainov// Himiko-farmacevticheskij zhurnal. − 2022. − № 2. − P. 42-49. DOI: 10.30906/0023-1134-2022-56-2-42-49
- 24. Kajsheva N.S.H., Kajshev A.S.H., Mikelov V.A., Sergeeva E.O., Kalashnikova S.A. Sposob polucheniya lekarstvennyh sredstv azotosoderzhashchih betainov gidrohloridov na osnove poslespirtovoj kukuruznoj bardy // Patent RU № 2736186 C1. Opublikovano: Opublikovano: 12.11.2020 Byul. № 32.
- 25. Bogdanov N.I. Sposob kul'tivirovaniya planktonnoj hlorelly//Patent RU № 2685955 S1. Opublikovano: 23.04.2019 Byul. № 12.
- 26. Dzagurov B.A., Fardzinova O.A., Kaloev S.A. Primenenie betonitov v kachestve svyazuyushchego materiala pri proizvodstve granul iz suhoj poslespirtovoj bardy//Effektivnoe zhivotnovodstvo. − 2018. − № 4 (143). − P. 76-77.
- 27. Kajsheva N.S.H., Kajshev A.S.H., Mikelov V.A., Gyul'byakova H.N., Maslovskaya E.A. Himicheskoe issledovanie betainov, vydelennyh iz poslespirtovoj bardy//Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologij. 2019. T. 81. № 2 (80). P. 257-260. DOI: 10.20914/2310-1202-2019-2-257-260
- 28. Buglass A.J. Handbook of alcoholic beverages: Technical, analytical and nutritional aspects. John Wiley & Sons; 2011. 1208 p. https://doi.org/10.1002/9780470976524.
- 29. Shelekhova N.V., SHelekhova T.M., Skvorcova L.I., Poltavskaya N.V. Opredelenie letuchih organicheskih primesej v viski metodom gazovoj hromatomass-spektrometrii //Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv. − 2022. − T. 52. − № 4. − P. 787–796. https://doi. org/10.21603/2074-9414-2022-4-2406.
- 30. Shelekhova N.V. Ekspress-metod opredeleniya letuchih organicheskih primesej v spirtnyh distillirovannyh napitkah na osnove sochetaniya GH/PID i

- GH/MSD/Sorbcionnye i hromatograficheskie processy. 2022. T.22. № 1. P.58-68. https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2022.22/9021.
- 31. Rudakov O.B., SHelekhova N.V., Rudakov YA.O., Selemenev V.F., & Harchenko G.YU. (2022). Ekspressnoe opredelenie metanola v spirtnyh napitkah metodom gazovoj hromato-mass-spektrometrii. Sorbcionnye i hromatograficheskie processy, 22(2). P 116-125. https://doi.org/10.17308/sorpchrom. 2022.22/9214/
- 32. Sputnik hromatografista. Metody zhidkostnoj hromatografii / O.B. Ruda-kov [i dr.]. Voronezh: Vodolej, 2004. 528 p.
- 33. Rudakov O.B. Nikitina S.V. Trendy v analiticheskom kontrole kachestva pit'evogo etanola// Analitika i kontrol'. 2017. T. 21. № 3. P. 180-196. DOI: 10.15826 / analitika.2017.21.3.010.
- 34. Baranovskaya V.B., Medvedevskih M.YU., Karpov YU.A. Aktual'nye problemy kachestva himicheskogo analiza. Analitika i kontrol'. 2021. T. 25. № 4. P. 273-279. DOI: 10.15826/ analitika.2021.25.4.005.
- 35. Manshin D., Meledina T.V., Britvina T. [et al.] Comparison of the yeast Saccharomyces cerevisiae var. boulardii and top-fermenting brewing yeast strains during the fermentation of model nutrient media and beer wort. Agronomy Researchthis link is disabled. 2022. 20(3). P. 625–636. https://doi.org/10.15159/AR.22.066.
- 36. Meledina T.V., Davydenko S.G. Yeast Saccharomyces cerevisiae. Morphology, chemical composition, metabolism. St. Petersburg: ITMO University. 2015. 88 p.
- 37. Manoyan J., Gabrielyan L., Kozel N., Trchounian A. Regulation of biohydrogen production by protonophores in novel green microalgae Parachlorella kessleri / J Photochem Photobiol B: Biology / 2019/V. 199 p. 111597.

Шелехова Наталия Викторовна — д-р техн. наук, заведующая лабораторией Всероссийского научно-исследовательского института пищевой биотехнологии, г. Москва **Рудаков Олег Борисович** — д-р хим. наук, профессор, заведующий кафедрой химии и химической технологии Воронежского государственного технического университета **Полянский Константин Константинович** — д-р техн. наук, профессор Воронежского филиала Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова

Перцев Виктор Тихонович – д-р техн. наук, профессор Воронежского государственного технического университета

Чогут Андрей Ричардасович – аспирант Воронежского государственного технического университета

МЕХАНИКА

УДК 666.965.2

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕСЪЕМНОЙ ОПАЛУБКИ, В ЗДАНИИ ТОРГОВОГО КОМПЛЕКСА «ЛЕНТА» В Г. ВОРОНЕЖ

Н.Г. Назаренко, М.И. Борисова*, К.В. Макарычев

Воронежский государственный технический университет, Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

*Адрес для переписки: Борисова Марина Ивановна, E-mail: marinaboris01@gmail.com

Встатье приводятся результаты технического освидетельствования и определения несущей способности монолитных железобетонных плит перекрытий, выполненных с применением несъемной опалубки, в здании торгового комплекса «Лента», расположенного в городе Воронеж. Предложена методика проверки прочности монолитной плиты по нормальному сечению на опоре с учетом переменности ширины поперечного сечения ребра. Работа состоялась в связи со сменой владельца этого комплекса после его обращения с письмом к ВГТУ выполнить подобное обследование и заключении хозяйственного договора.

Ключевые слова: обследование, монолитные железобетонные перекрытия, несъемная опалубка, несущая способность

STUDY OF THE LOAD-LOADING CAPACITY OF MONOLITHIC REIN-FORCED CONCRETE FLOOR PLATES MADE USING PERMANENT FORMWORK, IN THE LENTA TRADE COMPLEX BUILDING IN VORONEZH

© Назаренко Н.Г., Борисова М.И., Макарычев К.В., 2023

N.G. Nazarenko, M.B. Borisova*, K.V. Makarychev

Voronezh State Technical University, Russian Federation 394006, Voronezh, ul. 20-letiia Oktiabria, 84,

*Corresponding author: Marina I. Borisova,

E-mail: marinaboris01@gmail.com

The article presents the results of a technical examination and determination of the loadbearing capacity of monolithic reinforced concrete floor slabs, made using permanent formwork, in the building of the Lenta shopping complex, located in the city of Voronezh. A technique is proposed for testing the strength of a monolithic slab along a normal section on a support, taking into account the variability of the width of the cross section of the rib. The work took place in connection with a change in the owner of this complex after he sent a letter to VSTU to carry out a similar survey and conclude a business agreement.

Keywords: inspection, monolithic reinforced concrete floors, permanent formwork, loadbearing capacity

Введение. Задача исследования: определить несущую способность проектной ячейки размером 12×12 м монолитных железобетонных плит перекрытий 1-го и 2-го этажей, с учетом фактической прочности бетона при сжатии, торгового комплекса «Лента», расположенного по адресу: г. Воронеж, ул. Домостроителей, 24 (Рис.1).



Рис. 1. Общий вид здания со стороны ул. Домостроителей

Основная часть. При исследовании были изучены документы, предоставленные заказчиком: Проектная документация 15441.К – КЖЗ в составе чертежей плит перекрытия, разработанная ООО «Воронежпроект-2».

Согласно проектной документации класс бетона при сжатии плит перекрытия B25. Также по проектной документации установлены конструкция и армирование плит перекрытия, которые использовали в расчете. При этом выяснилось, что проектом не учитывалась роль оцинкованного профилированного настила как армирующего элемента из-за того, что был применен профнастил без специальных выштамповок, обеспечивающих совместную работу настила с бетоном, и из-за отсутствия упоров, размещаемых по линии опирания плиты на ригели и балки [1]. В связи с этим, настил в расчетах учитывался лишь в качестве постоянной нагрузки.

Определение фактической прочности бетона при сжатии проводилось методом отбора проб бетона из исследуемой конструкции и изготовления из проб образцов для испытания их сжимающим давлением на лабораторном прессе.



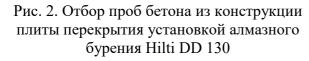




Рис. 3. Схема испытания образцов бетона на сжатие

Затем из проб бетона в соответствии с ГОСТ 28570-90 и ГОСТ 10180-90 были изготовлены образцы и испытаны на сжатие на лабораторном прессе (Рис.3).

В результате испытаний было получено, что значение условного класса бетона по прочности на сжатие перекрытия на отм. +4.800 м находится в пределах от B_{ycn} 25,1 до B_{ycn} 27.6, а для перекрытия на отметке отм. +10.650 м — соответственно от B_{ycn} 25,7 до B_{ycn} 26.4, что выше проектного значения B25.

Далее был произведён расчет несущей способности проектной ячейки размером 12×12 м монолитных железобетонных перекрытий, выполненных с применением несъемной опалубки. Так как фактическоезначение класса прочности бетона на сжатие оказалось незначительно выше проектного, то было принято решение в расчётах использовать проектное значение прочности бетона на сжатие. Так же, при расчете, использовались проектные данные об армировании плиты перекрытия и нагрузках, действующих на перекрытие.

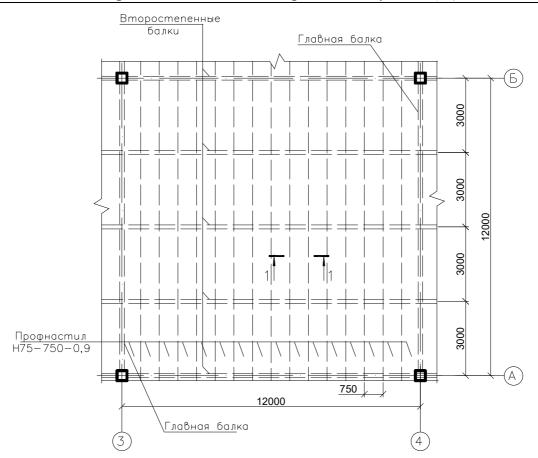


Рис. 4. Фрагмент монолитного перекрытия на отм. +4.800; +10.650 (опалубка)

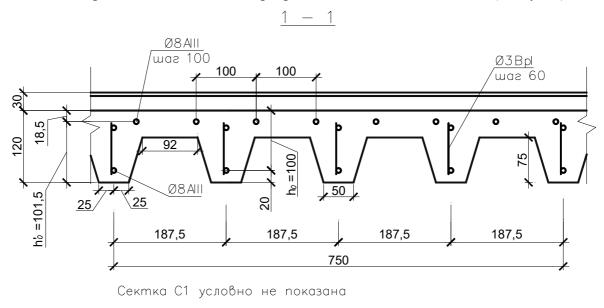


Рис. 5. Схема армирования монолитного перекрытия

Статический расчет плиты монолитного железобетонного перекрытия

Расчет плиты перекрытия выполняем как для неразрезной четырех пролетной балки (рис. 5).

В поперечном сечении балка имеет профиль тавра с шириной полки b'f, равной шагу гофр профилированного настила, выполняющего роль опалубки. Ребро тавра представляет собой трапецию с размерами оснований: a = 95,5 мм, b = 48 мм и высотой h = 74 мм (рис. 7, рис. 8).

Расчетные усилия в балке находим от воздействия погонных постоянных и временных нагрузок (рис. 5), при этом учитывается коэффициент по назначению здания γ_n = 1.

Расчетная постоянная нагрузка составляет:

$$g = 416.2 \times 0.1875 = 78.0 \text{ kpc/m} = 780 \text{ H/m} = 0.78 \text{ kH/m}$$

Расчетная временная нагрузка $\nu = 519,0~0,1875 = 97,3~{\rm krc/m} = 973~{\rm H/m}$ =0, 973 кH/м.

Расчетные усилия, соответствующие максимальным значениям, в неразрезной балке согласно [9] определяем в зависимости из рассмотрения невыгодных схем загружения постоянных и временных нагрузок:

изгибающие моменты

• в первом пролете

$$M_1 = (0.077 \cdot g + 0.1 \cdot v) \cdot 12 = (0.077 \cdot 0.78 + 0.1 \cdot 0.973) \cdot 32 = 1.416 \text{kH/m}.$$

• на опоре «В»

$$M_B = (-0.107 \cdot g + 0.121 \cdot v) \cdot 12 = (-0.107 \cdot 0.78 + 0.121 \cdot 0.973) \cdot 32 = 1.811 \kappa H/m.$$

поперечная сила на опоре «В»

$$Q_{\rm BJI} = (-0.607 \cdot g - 0.620 \cdot v) \cdot l = (-0.607 \cdot 0.78 - 0.620 \cdot 0.973) \cdot 3 = 1.076 \kappa H \cdot m.$$

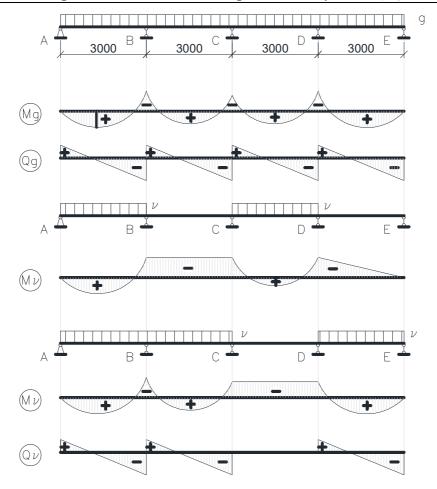


Рис. 6. Расчетные схемы и эпюры изгибающих моментов и поперечных сил

Был проведён расчёт прочности монолитной плиты по нормальному сечению в первом пролете, который показал, чтопрочность балки оп нормальному сечению обеспечена, так как изгибающий момент от расчётных нагрузок не превышает момента внутренних усилий $M_1 = 1,416 \text{ кH} \cdot \text{м} < 1,7 \text{ кH} \cdot \text{м}$

Проверка прочности монолитной плиты по нормальному сечению на опоре «В» (с учетом переменности ширины поперечного сечения ребра).

Расчетное сечение монолитной плиты на опоре «В» показано на (рис. 7).

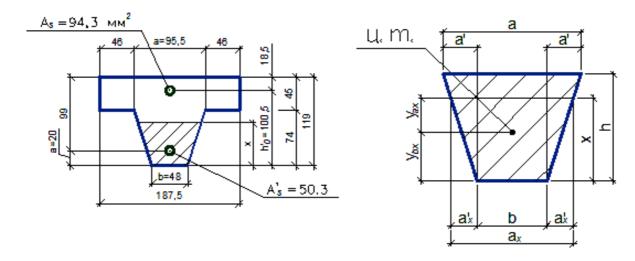


Рис. 7. Расчетное сечение монолитной плиты на опоре «В»

Рис. 8. Фрагмент расчетного сечения

Исходные данные:

- бетон класса B25, расчетное сопротивление бетона сжатию $R_b = 14,5 \ \text{M}\Pi a;$
 - $\gamma_{b2} = 0,9$ коэффициент условий работы бетона;

Полка плиты на опоре армирована отдельными стержнями Ø8AIII, расположенных с шагом 100 мм. Суммарная площадь стержней на участке, шириной одного профилированного настила, равна 750 мм.

$$50,3\cdot7,5=377,25$$
mm².

Площадь продольной арматуры, расположенной в верхней зоне расчетного сечения на опоре «В», равняется

$$A_s = \frac{377,25}{4} = 94,31 \text{MM}^2$$

Согласно рис. 7, рис. 8 сжатая зона бетона плиты перекрытия имеет трапециевидное очертание.

Для определения площади сжатой зоны бетона A_b используем рис. 8, из которого следуют соотношения

$$\frac{a'}{a'_x} = \frac{h}{x}; a'_x = \frac{a'x}{h}; \tag{1}$$

$$a_{x} = b + 2a'_{x} = b + \frac{2a'_{x} \cdot x}{h}, \tag{2}$$

где
$$a' = \frac{a-b}{2}$$
.

Подставим (3) в (2), получим

$$a_x = b + \frac{2x}{h} \cdot \frac{a-b}{2} = b + \frac{x}{h}(a-b). \tag{4}$$

Площадь сжатой зоны бетона

$$A_{b} = \frac{a_{x} + b}{2} \cdot x = \frac{b + \frac{x}{h}(a - b) + b}{2} \cdot x = \frac{2bx + \frac{x^{2}}{h}(a - b)}{2} =$$

$$= bx + \frac{x^{2}}{2h}(a - b).$$
(5)

Высоту сжатой зоны бетона x найдем из рассмотрения уравнения равновесия всех сил, спроектированных на продольную ось:

$$R_s A_s - Rb \cdot \gamma_{b2} \cdot A_b - R_{sc} A_s' = 0 \tag{6}$$

Подставим (5) в (6), получим

$$R_s A_s - R_b \cdot \gamma_{b2} \left(bx + \frac{x^2}{2h} (a - b) \right) - R_{sc} A'_s = 0,$$

$$R_s A_s - R_b \cdot \gamma_{b2} \cdot b \cdot x - \frac{R_b \cdot \gamma_{b2} \cdot x^2}{2h} (a - b) - R_{sc} A'_s = 0,$$

$$\frac{R_b \cdot \gamma_{b2} \cdot x^2}{2h} (a - b) + R_b \cdot \gamma_{b2} \cdot b \cdot x - R_s A_s + R_{sc} A_s' = 0. \tag{7}$$

С учетом обозначений

$$\tilde{a} = \frac{R_b \cdot \gamma_{b2}(a - b)}{2h},$$

$$\tilde{b} = R_b \cdot \gamma_{b2} \cdot b$$

$$\mathcal{C} = R_{sc}A'_{s} - R_{s}A_{s},$$

получим квадратное уравнение

$$\tilde{a}x^2 + \tilde{b}x + \tilde{c} = 0. \tag{8}$$

Решая (8), найдем высоту сжатой зоны бетона

$$x = \frac{-\tilde{b} \pm \sqrt{\tilde{b}^2 - 4\tilde{\alpha} \cdot \tilde{c}}}{2\tilde{\alpha}}.$$
 (9)

Прочность монолитной плиты по нормальному сечению на опоре «В» будет обеспечена, если изгибающий момент от расчетных нагрузок не превышает момент внутренних усилий относительно центра тяжести растянутой арматуры

$$M_B \le M = R_b \cdot \gamma_{b2} \cdot A_b (h'_0 - y_{bx}) + R_s A_s (h'_0 - a),$$
 (10)

где, y_{bx} – ордината центра тяжести сжатой зоны бетона, имеющей очертания трапеции [7].

$$y_{bx} = \frac{x}{3} \cdot \frac{b + 2a_x}{a_x + b}.$$

В соответствии с приведенными выше формулами проверим прочность монолитной плиты по нормальному сечению на опоре «В».

Исходные данные:

 $h = 74_{MM};$

a = 95,5 MM;

b = 48 MM;

 $R_b = 14,5 M\Pi a;$

 $\gamma_{b2} = 0.95$;

 $R_{sc} = 355M\Pi a;$

 $A'_{s} = 50.3 \text{ mm}^{2}$;

 $A_s = 94.3 \text{ mm}^2$.

Вычисляем коэффициенты

$$\tilde{a} = \frac{14,5 \cdot 0,95(95,5-48)}{2 \cdot 74} = 4,421;$$

$$\tilde{b} = 14.5 \cdot 0.95 \cdot 48 = 661.2$$
;

$$\tilde{c} = 355 \cdot 50,3 - 355 \cdot 94,3 = -15620.$$

Находим высоту сжатой зоны бетона

$$x = \frac{-661,2 \pm \sqrt{661,2 + 4 \cdot 4,421 \cdot 15620}}{2 \cdot 4,421} = 20,75 \text{MM}.$$

Площадь сжатой зоны бетона

$$A_b = bx + \frac{x^2}{2h}(a-b) = 48 \cdot 20,75 + \frac{20,75^2}{2 \cdot 74}(95,5-48) = 1134,18$$
mm².

$$a_x = 48 + \frac{20,75}{74}(95,5 - 48) = 61,32$$
mM.

Ордината центра тяжести сжатой зоны бетона

$$y_{bx} = \frac{20,75}{3} \cdot \frac{48 + 2 \cdot 61,32}{61,32 + 48} = 10,8$$
 mM.

Несущая способность по нормальному сечению на опоре «В»

$$\begin{split} \mathbf{M} &= R_b \cdot \gamma_{b2} \cdot A_b (h_0' - y_{bx}) + R_s A_s' (h_0' - a) = \\ &= 14,5 \cdot 0,9 \cdot 1134,2 (100,5 - 10,8) + 355 \cdot 50,3 (100,5 - 20) = \\ &= 2765125,0 \mathbf{H} \cdot \mathbf{MM} = 2,765 \mathbf{KH} \cdot \mathbf{M}. \end{split}$$

Так как $M_B = 1.811$ к $H \cdot M < M = 2.765$ к $H \cdot M$, следовательно, прочность плиты по нормальному сечению на опоре «В» обеспечена.

Далее в соответствии с действующими нормами был выполнен расчет прочности монолитного перекрытия на действие поперечной силы по наклонному сечению на опоре «В», который показал, что прочность по наклонному сечению на опоре «В» выполняется с большим запасом, так как

$$Q = 1,076 < Q_b + Q_{sw} = 7,571 + 6,421 = 13,0$$
kH.

Кроме того, был выполнен расчёт монолитного перекрытия по второй группе предельных состояний по образованию трещин, который показал, что условия $Mr \leq M_{crc}$ для не образования трещин в растянутой зоне не выполняется, так как $M_r = 1,202 \text{ кH·m} > M_{crc} = 0,598 \text{кH·m}$. Следовательно, необходим расчет по раскрытию трещин.

Расчет по раскрытию трещин, нормальных к продольной оси.

Для элементов, к которым по трещиностойкости предъявляются требования 3-й категории, предельная непродолжительная ширина раскрытия трещин $a_{crc} = [0,4 \text{ мм}]$, продолжительная $a_{crc} = [0,3 \text{ мм}]$.

Изгибающие моменты от нормативных нагрузок: постоянной и длительной

$$M_1 = (0.077 \cdot 0.688 + 0.1 \cdot 0.262) \cdot 32 = 0.71 \text{ kH} \cdot \text{m};$$

$$g^n = 3.67 \cdot 0.1875 = 0.688 \cdot v^n = 1.4 \cdot 0.1875 = 0.262 \text{ kH/m}.$$

То же, от полной

$$M_1 = (0.077 \cdot 0.688 + 0.1 \cdot 0.806) \cdot 32 = 1.2 \text{ kH} \cdot \text{m};$$

$$v^n = 4,3 \cdot 0,1875 = 0,806 \text{ kH/m}.$$

Приращение напряжений в растянутой арматуре от действия постоянной и длительной нагрузок

$$\sigma_s = \frac{M_1}{W_s},$$

где $W_{\!s}$ - упругопластический момент сопротивления после образования трещин по растянутой зоне

$$W_s = A_s \cdot z$$

где $A_{\mathfrak{s}}$ – площадь арматуры,

z – расстояние от центра тяжести площади сечения арматуры до точки приложения равнодействующей усилий в сжатой зоне сечения над трещиной

$$z = h_0 \left[1 - \frac{\frac{h_f'}{h_0} \cdot \varphi_f + \xi^2}{2(\varphi_f + \xi)} \right],$$

Здесь

$$\varphi_f = \frac{(b'_f - b)h'_f}{bh_0} = \frac{(187.5 - 71.75) \cdot 45}{71.75 \cdot 99} = 0.73;$$

$$\xi = \frac{1}{\beta + \frac{1 + 5(\delta + \lambda)}{10\mu \cdot \alpha}} = \frac{1}{1,8 + \frac{1 + 5(0,011 + 0,564)}{10 \cdot 0,0071 \cdot 6,7}} = 0,1;$$

$$\delta = \frac{M}{bh_0^2 R_{b,ser}} = \frac{0,38 \cdot 10^6}{187,5 \cdot 99^2 \cdot 18,5} = 0,011;$$

$$\mu = \frac{A_s}{A_b} = \frac{50.3}{71.75 \cdot 99} = 0.0071$$
 (без учета сжатых свесов полок);

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = 6.7;$$

$$\lambda = \varphi_f \left(\mathbf{1} - \frac{h'_f}{2h_0} \right) = 0.73 \left(\mathbf{1} - \frac{45}{2 \cdot 99} \right) = 0.564;$$

$$z = 99 \left[1 - \frac{\frac{45}{99} \cdot 0,73 + 0,1^2}{2(0,73 + 0,1)} \right] = 78,6 \,\text{мм}.$$

$$W_s = 50.3 \cdot 78.6 = 3953 \text{ MM}^3;$$

$$\sigma_s = \frac{0.71 \cdot 10^6}{39.53} = 179 \, M\Pi a.$$

Приращение напряжений от действия полной нагрузки

$$\sigma_s = \frac{1.2 \cdot 10^6}{3953} = 303 \, MITa.$$

Ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия полной нагрузки

$$\begin{split} \alpha_{crc1} &= \delta \phi_l \eta \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot 20(3.5 - 100 \mu) \sqrt[3]{d} = \\ &= 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{303}{20 \cdot 104} \cdot 20(3.5 - 100 \cdot 0.0071) \sqrt[3]{8} = 0.17 \text{ mm}. \end{split}$$

Ширина раскрытия трещин от непродолжительного действия постоянной и длительной нагрузок

$$a_{crc2} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{179}{20 \cdot 104} \cdot 20(3.5 - 100 \cdot 0.0071)\sqrt[3]{8} = 0.09 \text{ mm}.$$

Ширина раскрытия трещин от постоянной и длительной нагрузок

$$a_{crc3} = 1 \cdot 1,49 \cdot 1 \cdot \frac{303}{20 \cdot 104} \cdot 20(3,5 - 100 \cdot 0,0071) \sqrt[3]{8} = 0,24 \text{ MM}.$$

$$\phi_i = 1.6 - 15\mu = 1.6 - 15 \cdot 0.0071 = 1.49$$
.

Непродолжительная ширина раскрытия трещин

$$a_{crc} = a_{crc1} - a_{crc2} + a_{crc3} = 0.17 \, -0.09 + 0.24 = 0.32 \, \mathrm{mm} \, < [0.4 \, \mathrm{mm}].$$

Продолжительная ширина раскрытия трещин

$$a_{crc} = a_{crc3} = 0.24 \text{ MM} < [0.3 \text{ MM}]$$

Результаты расчета

Таблица 1

Контрольные пара- метры	Значения контрольных параметров от проектных нагрузок	Максимально допусти- мые значения контроль- ных параметров или нормативные значения	Процент использования несущей способности		
Пролетный изгибающий момент M_1	1,416 кН∙м	1,7 кН∙м	83,3%		
Опорный изгибающий момент М _В	1,811 кН∙м	2,765 кН∙м	65,5%		
Поперечная сила на опоре Q _B	1,076 кН	13,0 кН	8,2%		
Непродолжительная ширина раскрытия трещин a_{crc}	0,32 мм	Предельно допустимая ширина по СНиП [0,4 мм]	80 %		
Продолжительная ширина раскрытия трещин a_{crc}	0,24 мм	Предельно допустимая ширина по СНиП [0,3мм]	80 %		

Расчеты по первой группе предельных состояний показали, что несущая способность монолитных железобетонных перекрытий на отм. +4.800 и +10.650 достаточна для восприятия нагрузок, предусмотренных проектом.

При этом максимальный процент использования несущей способности составляет 83,3%.

Расчеты по второй группе предельных состояний на трещинностойкость показали, что при действии проектных нагрузок ширина раскрытия трещин близка к предельно допустимым величинам:

непродолжительная ширина раскрытия трещин

$$a_{crc} = 0.32 \,\mathrm{mm} < [0.4 \,\mathrm{mm}];$$

продолжительная ширина раскрытия трещин

$$a_{crc} = 0.24 \,\mathrm{mm} < [0.3 \,\mathrm{mm}].$$

Заключение. Выполненные исследования показали, что условный класс прочности бетона при сжатии Вусл перекрытия на отм. +4.800 и +10.650 этажа имеет значения выше проектных.

Расчеты по І-й группе предельных состояний подтвердили, что несущая способность монолитных железобетонных перекрытий на отм. +4.800 и +10.650 достаточна для восприятия нагрузок, предусмотренных проектом. При этом максимальный процент использования несущей способности составляет 83,3%.

Расчеты по II-й группе предельных состояний на трещинностойкость показали, что при действии проектных нагрузок ширина раскрытия трещин близка к предельно допустимым величинам.

По результатам исследования рекомендуется при эксплуатации здания ограничить временную нагрузку на перекрытия 1-го и 2-го этажей проектным значением, а именно 400 кгс/м².

Список литературы

- 1. Металлические конструкции в 3 т. Т.2. Стальные конструкции зданий и сооружений (Справочник проектировщика) / Под общей ред. засл. строителя Р.Ф., лауреата госуд.премии СССР В.В. Кузнецова. ЦНИИПроектстальконстукция им. Н.П. Мельникова) М.: изд. АСВ, 1998. С. 195-197.
- 2. СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений».
- 3. ГОСТ 28570-90 (СТ СЭВ 3978-83) «Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций».
 - 4. СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции».
- 5. СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры».
- 6. ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова», ЗАО «Хилтидистрибьюшинлтд» СТАНДАРТ ОГРАНИЗАЦИИ. Перекрытия сталежелезобетонные с монолитной

- плитой по стальному профилированному настилу. Расчет и проектирование. СТО 0047-2005.(0249-4680, 17523759). М. 2005. Пособие по проектированию.
- 7. Стальные конструкции. Справочник конструктора. Изд. 2-е, перераб. И доп. Под ред. Н.П. Мельникова. М., Стройиздат, 1972. 328 с. (ЦНИИпро-ектстальконструкции).
- 8. Справочник современного проектировщика. Л.Р. Маилян [и др.]; под общ. ред. Л.Р. Маиляна. Изд. 6-е. Ростов н/д: Феникс, 2008. 540,[1]с.: ил. (Строительство и дизайн).

References

- 1. Metal structures in 3 tons. T.2. Steel structures of buildings and structures (Designer's Handbook)/Under the general editorship. honorable builder R.F., USSR State Prize laureate V.V. Kuznetsova. TsNIIProektstalkonstruktsiya them. N.P. Melnikova) M.: ed. DIA, 1998, P. 195-197.
- 2. SP 13-102-2003 «Rules for inspection of load-bearing building structures of buildings and structures».
- 3. GOST 28570-90 (ST SEV 3978-83) «Concrete. Methods for determining strength from samples taken from structures».
 - 4. SNiP 52-01-2003 «Concrete and reinforced concrete structures».
- 5. SP 52-101-2003 «Concrete and reinforced concrete structures without prestressing reinforcement».
- 6. JSC «TSNIIPSK im. Melnikov», CJSC «Hiltidistribution-Shinltd» STANDARD OF ORGANIZATION. The floors are steel-reinforced concrete with a monolithic slab on a steel profiled flooring. Calculation and design. STO 0047-2005.(0249-4680, 17523759). M. 2005. Design manual.
- 7. Steel structures. Designer's Handbook. Ed. 2nd, revised And additional Ed. N.P. Melnikova. M., Stroyizdat, 1972. 328 p. (TsNII-proektstalkonstruktsii).

8. Handbook of a modern designer. L.R. Mailyan [etc.]; under general ed. L.R. Mayilyana. – Ed. 6th. – Rostov n/a: Phoenix, – 2008. 540, [1] p.: ill. – (Construction and design).

Назаренко Николай Григорьевич — старший преподаватель кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени профессора Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета

Борисова Марина Ивановна — старший преподаватель кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени профессора Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета

Макарычев Константин Владимирович — старший преподаватель кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени профессора Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета.

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 544.77

ПОЧЕМУ И КАК НЕОБХОДИМО БОРОТЬСЯ СО СТРОИТЕЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ

K.A. Бахметьев 1* , П.С. Куприенк o^1 , Т.В. Ашихмина 1 , С.Н. Букша 2

¹Воронежский государственный технический университет,

Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84 ²ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,

Российская Федерация, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54а

*Адрес для переписки: Бахметьев Кирилл Александрович, E-mail: bakhmetevk@mail.ru

Данная работа посвящена анализу выбросов углекислого газа в атмосферу земли, вызванных деятельностью человека, и вклада в эти выбросы строительной отрасли. Определение объемов строительного мусора и причин их образования. Выполнены сравнения основных методов сноса зданий и сооружений, существующих в основное время в РФ. Проанализированы методы механического обрушения и технологии «умного сноса», выявлены все положительные и отрицательные моментов этих технологий, а также определены проблемы, которые возникают из-за этих методов. Рассмотрен альтернативный метод сноса зданий, заключающийся в повторном использовании строительных материалов, изделий и конструкций, образующихся при поэлементном демонтаже. Этот методразработан и внедрен специалистами ВГТУ. Доказано, что этот метод является наиболее экологичным, экономичным.

Ключевые слова: механическое обрушение, умный снос, технология замкнутого цикла, экологичность, выбросы углекислого газа, строительство, повторное применение строительных материалов изделий и конструкций

© Бахметьев К.А., Куприенко П.С., Ашихмина Т.В., Букша С.Н., 2023

WHY AND HOW IT IS NECESSARY TO DEAL WITH CONSTRUCTION WASTE

K.A. Bakhmetev¹*, P.S. Kuprienko¹, T.V. Ashihmina¹, S.N. Buksha²

¹Voronezh State Technical University, Russian Federation, 394006, Voronezh, ul. 20-letiia Oktiabria, 84 ²Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovskiy and Y.A. Gagarin, Russian Federation, 394064, Voronezh, ul. Starykh Bolshevikov, 54a *Corresponding author: Kirill A. Bakhmetev, E-mail: bakhmetevk@mail.ru

This work is devoted to the analysis of carbon dioxide emissions into the earth's atmosphere caused by human activity and the contribution of the construction industry to these emissions. Determination of the volume of construction debris and the causes of their formation. Comparisons of the main methods of demolition of buildings and structures existing in the main time in the Russian Federation are made. The methods of mechanical collapse and "smart demolition" technologies are analyzed, all the positive and negative aspects of these technologies are identified, and the problems that arise due to these methods are identified. An alternative method of demolition of buildings is considered, which consists in the reuse of building materials, products and structures formed during piecemeal dismantling. This method was developed and implemented by VSTU specialists. It is proved that this method is the most environmentally friendly, economical.

Keywords: mechanical collapse, smart demolition, closed-loop technology, environmental friendliness, carbon dioxide emissions, construction, reuse of building materials of products and structures

Введение. Одной из глобальных проблем, стоящих перед человечеством в настоящее время, является быстрый рост температуры на планете, ведущий к климатическим катастрофам. Ответственными за резкий рост температуры на земле ученые считают выбросы углекислого газа, вызванные деятельностью человека. Значительный вклад в выбросы углекислого газа вносит строительная отрасль. Поэтому разработка строительных технологий замкнутого цикла позволяет снизить объемы выброса углекислого газа. Одной изострых проблем в настоящее время такжеявляется значительный рост объемов строительного мусора, попадающего на свалки твердых бытовых отходов, где их объем может достигать 40-70%. Одной из основных причин значительного роста объемов строительного мусора является массовый снос зданий, идущий в нашей стране. В ВГТУ удалось разработать и внедрить полную цепочку, состоящую из специалистов, обследующих здания перед их сносом и способных определить возможность повторного использования строительных материалов, изделий и конструкций, архитекторов, проектировщиков, которые проектируют малоэтажные

здания с использованием вышеназванных конструкций и строителей, работающих под инженерным надзором специалистов строительного и архитектурного факультетов ВГТУ.

Цели и задачи исследования: определить объемы выбросов углекислого газа, связанных с производством строительных материалов, изделий и конструкций и объемы строительного мусора, попадающего на полигоны ТБО. Провести анализ наиболее применимых методов сноса зданий. Выявление недостатков этих методов. Провести анализ технологии замкнутого цикла, предложенной специалистами ВГТУ. Составить сравнительную характеристику с приведением преимуществ и недостатков каждого метода.

Методы исследования: анализ статистических данных выбросов углекислого газа в атмосферу земли, связанных с производством строительных материалов, изделий и конструкций, объемов строительных отходов, попадающих на полигоны ТБО. Анализнормативной литературы и законодательных актов, связанных с утилизацией строительного мусора и проблемами, которые при этом возникают.

Исследования. Исследуя статистические данные, согласно [1], получаем следующий график

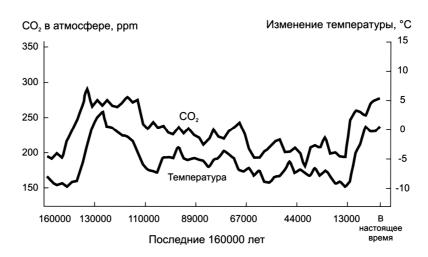


Рис. 1. Динамика за последние 160 тыс. лет концентрации углекислого газа (CO₂) в атмосфере и температуры, обнаруженная при химическом анализе «ископаемого воздуха»

Из этого графика следует, что за последние тысячелетия температура выросла на 15 градусов, и имеется тенденция, которая грозит резким изменением

климата на планете, связанная с освобождение огромных объемов углекислого газа из мирового океана, болотных газов из болот заполярья, что уже приводит к резкому росту количества климатических катастроф на Земле.

Большинство ученых считают, что кроме естественных процессов выбросов углекислого газа накладываются дополнительные, связанные с промышленным производством, которые влияют на изменение климата Земли. Данные по объему выбросов, приведены в табл. 1.

Таблица 1 Выбросы парниковых газов, связанные с промышленными процессами и использованием промышленной продукции, тыс. тонн

		-				-			
	2.014	2.015	2016	2.017	2018	2019	2020	2021	2022
Всего	207,72	197,10	200,46	216,64	220,93	221,10	219,14	219,08	233,20
в том числе:									
производство продукции из минерального сырья	36,51	37,14	40,11	42,10	43,52	43 .0 7	40,01	36,51	37,12
химическая промышленность	58,78	49,57	47,40	56,09	59,99	57,25	55,63	57,56	68,95
метаттургия	108,32	102,83	103,62	107,14	104,63	106,21	107,63	107,37	107,96
использование растворителей и неэнергетических продуктов из топлива	1,23	1,12	1,18	1,30	1.20	1.50	1,59	1,69	1,39
электронная промышленность	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01
использование фторированных заменителей озоноразрушающих веществ	2,00	5,39	7,07	8,92	10,47	11,85	13,05	14,63	16,44
производство и использование другой пролужции	0,87	1,05	1,08	1,09	1,12	1,22	1,23	1,30	1,35

Данные, приведенные в табл. 1, согласно [2], говорят о постоянном росте объемов выбросов углекислого газа в атмосферу, связанные с промышленным производством в России.

Для того чтобы определить долю выбросов углекислого газа, связанную с производством строительных материалов, были собраны статистические данные, которые приведены в табл. 2.

Таблица 2 Выбросы CO_2 от производства продукции из минерального сырья

Химия, физика и механика материалов. Выпуск № 4(39), 2023

2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	Производство цемента тонн												
34609	16646	15113	22256	23625	19746	22688	25090	26525	27199	26373	23066	20339	20419
	Производство извести тонн												
12501	7100	6891	7831	8782	6497	7540	7982	8418	8741	9300	9017	8852	8568
	Производство керамических изделий												
2152	1203	941	1004	1325	968	1163	1325	1493	1552	1613	1481	1253	1273
	Производство стекла тонн												
455	322	386	683	1102	1008	1544	1623	1725	1735	1729	2657	1734	1777

Анализ данных, согласно [2], полученных в табл. 2, показывает, что идет постоянный рост выбросов объемов углекислого газа, связанных с человеческой деятельностью, и до 1/3 объемов связаны с производством строительных материалов. Поэтому работы, связанные со снижением объема выбросов углекислого газа при производстве строительных материалов, являются актуальными.

Одним из возможных направлений снижения углекислого газа является повторное применение строительных материалов, образующихся при сносе зданий.

В табл. 3 приведены данные о выбросе парниковых газов

 Таблица 3

 Выбросы парниковых газов, связанные с отходами, тыс. тонн

	2005	2010	2018	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Всего	68,02	76,73	79,19	81,46	83,96	87,33	90,02	92,48	94,49
в том числе:									
захоропение твердых отходов	45,71	53,81	55,73	57,70	59,90	63,07	65,39	67,57	69,37
биологическая обработка твердых откодов	0,07	0,07	0,06	0,07	0,05	0,06	0,07	0,04	0,03
очистка жидких отходов и стоков	22,24	22,84	23,40	23,69	24,00	24,20	24,56	24,87	25,08

Проанализировав данные, согласно [2], по объему строительного мусора, попадающего на полигоны ТБО, можно сделать вывод о том, что повторное применение строительного мусора при малоэтажном строительстве позволит уменьшить его количество почти на 70 млн. тонн.

Проанализируем статистические данные, полученные за последние 10 лет.

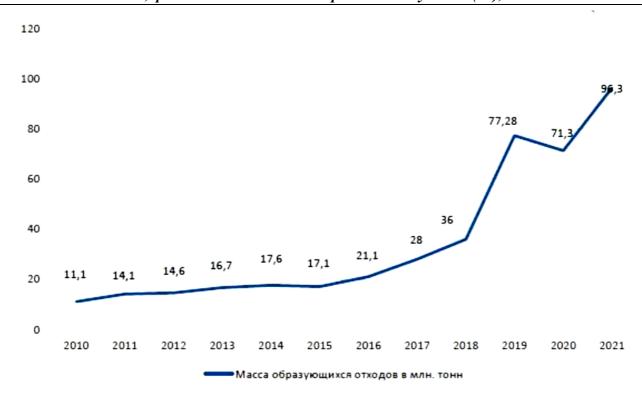


Рис. 2. Масса образующихся ежегодно отходов строительства

 Таблица 4

 Объёмы выбросов углекислого газа на 1 тонну производимых строительных материалов

Наименование материала	Объем выбросов CO ₂ , кг					
Сталь	1500					
Цемент	250					
Железобетонные изделия	550-600					
Кирпич силикатный	133,5					
Кирпич керамический	198,5					

Из приведенного графика видно, что объёмы строительного мусора за последние 10 лет выросли в 8,7 раза и достигли 96,3 млн. т., согласно докладу Замминистра экологии и природопользования Московской области Мосин В.В., объем строительного мусора в Москве и МО достиг 60 млн. тонн. Таким образом Москва и МО дает более половины объема всего строительного мусора, производимого в нашей стране.

Проанализируем причины появления основных объемов строительного мусора в нашей стране.

Это связано с тем, что в настоящее время в РФ существует 2 основные технологии сноса зданий и сооружений, которые приводят к росту объема свалок строительного мусора.

В настоящее время наиболее распространенным способом сноса 1-9-этажных зданий является метод механического обрушения, согласно [3]. Ранее, до середины 1990-х годов, для разрушения конструкций применяли метод ударного воздействия с помощью шар- или клин-молота, которые подвешивалась на тросах к стреле самоходного крана или экскаватора. В настоящее время разработана новая техника для разрушения зданий и сооружений - экскаваторы на гусеничном ходу. Они оснащены специализированным гидравлическим инструментом - гидроножницами, гидромолотами, грейферными захватами, мультипроцессорами и гидроклинами для разрушения элементов из бетона.

Механизированный метод разрушения является достаточно эффективным, позволяющим легко разрушать здания, не повреждая соседние строения и территорию, используя высокотехнологичную технику. Но этот метод имеет ряд серьезных недостатков. Одним из них является образование большого количества строительных отходов, которые невозможно переработать или использовать повторно, потому что требуется сложный и дорогостоящий сортировочный процесс. Этот метод создает строительный мусор 3-5 класса опасности, поскольку материалы не могут быть сохранены. Эти материалы не могут быть переработаны в соответствии с комплексной стратегией уменьшения объема и класса опасности отходов, так как их можно только утилизировать на свалках ТБО. Согласно [3], некондиционные конструкции должны быть сортированы по габаритным размерам и отправлены на переработку в стационарных комплексах, где их необходимо раздробить до нужного размера перед переработкой, что выполнить практически нереально.

Поэтому от 40 до 70% объема свалок ТБО заполнено таким мусором.

Эти свалки вызывают экологические, бактериологические и вирусные опасности заражения, так как создают ряд проблем:

- отравленный воздух;
- отравленная вода;
- отравленный грунт (100 млн. тон образуются ежегодно).

Ликвидация свалок ТБО является сложным, дорогостоящим и экологически опасным процессом, так как ликвидация полигонов связана с необходимостью дегазации, создания очистных сооружений и рекультивации этих свалок. В результате все равно получаются отравленные грунты и фильтрат, который в случае аварии способен отравить подземные воды вокруг свалок.

Согласно нашим исследованиям, была определена примерная стоимость утилизации 1 т. строительного мусора методом механического обрушения здания, которые попадают на полигоны ТБО. В настоящее время эта цена находится в пределах от 7 до 10 тыс. рублей, при этом происходит заражение грунтов, которые в последующем невозможно очистить.

В настоящее время все больше стран придерживаются политики экологически чистого строительства, поэтому механизированный метод сноса уже не является оптимальным выбором для разрушения зданий и сооружений ни с экологической, ни с экономической точки зрения.

В настоящее время при реновации зданий в Москве используется технология **«умного сноса»**, которая проходит в несколько этапов. Сначала производится демонтаж отдельных элементов внутри здания, а затем отходы разделяются на различные группы (например, фаянс и керамика, стекло, изделия из дерева). Мусор вывозят на специальные полигоны для последующей переработки и повторного использования. [4, 5]. В этой программе были выделены следующие основные принципы:

- безопасность;
- экологичность;
- минимум шума и пыли;
- максимальная переработка мусора;

- повторное использование отходов.

Технологию **«умного сноса»** можно разделить на следующие этапы:

- Первый этап
- отключение от инженерных сетей;
- разбор дома по элементам;
- сортировка отходов: стекло, дерево, пластик, металл, фаянс, кирпич;
- перемещение отходов на спецполигоны;
- переработка отходов для повторного использования.
- Второй этап
- снос здания с помощью специализированной техники;
- сетка пленка со стороны жилой застройки снижает уровень шума;
- специальные короба защищают деревья от повреждений;
- экскаватор-разрушитель с гидравлическими ножницами «кромсает» стены;
- гидропушки распыляют воду под большим давлением, снижая количество пыли.

После демонтажа зданий основную часть строительного мусора составляют отходы железобетона, бетона и кирпича, которые затем сортируются. Технология «умного сноса» имеет несколько преимуществ, среди которых следующие:

- уменьшение объемов отходов, подлежащих захоронению;
- сбережение природных ресурсов;
- снижение потребности в транспортировке материалов и строительных отходов на большие расстояния.

Однако значительного сокращения нагрузки на природную среду вследствие меньшего использования исходных материалов и более эффективной переработки строительных отходов не возникает, так как этот метод также имеет существенный недостаток: при дроблении цементного бетона идут процессы карбонизации его поверхности с превращением из прочного, морозостойкого материала в неоднородный низкомарочный известняк [6-10].

Эти 2 вышеописанных метода становятся основными при сносе зданий и сооружений. Выполнение Распоряжения Министерства экологии и природопользования Московской области (далее — Министерство) от 25.02.2021 № 134-РМ «Об утверждении Порядка обращения с отходами строительства, сноса зданий и сооружений, в том числе грунтами, на территории Московской области» привело к 6-кратному росту объемов строительных отходов в Москве и МО. Объем строительных отходов в результате в абсолютных цифрах вырос 10 млн. тонн до 60 млн. кубометров согласно докладу Замминистра экологии и природопользования Московской области Мосин В.В.

Альтернативой вышеназванным способам сноса зданий является поэлементный демонтаж зданий, выполняемый согласно [3] с повторным использованием строительных материалов изделий и конструкций при строительстве малоэтажных зданий и укреплений грунтов и оснований. Этот способ разработан и внедрен специалистами ВГТУ который мы рассмотрим в нашей статье это технология замкнутого цикла [11-31]. Технология поэлементной разборки зданий с использованием современной техники является совокупностью механизированных и ручных методов, которые осуществляются с помощью средств малой механизации.

Процесс включает следующие этапы:

- анализ здания специалистами в области безотходной технологии демонтажа;
- разработку проекта по поэлементной разборке специализированной организацией;
 - отключение и вывоз оборудования;
 - отключение и демонтаж инженерных сетей;
 - разборка деревянных конструкций, проемов окон, дверей;
 - демонтаж несущих конструкций;
 - демонтаж подвальных помещений;
 - разрушение фундамента и удаление его остатков;
 - контроль над сносом и сортировкой отходов по группам;

- •определение физико-механических и экологических характеристик демонтируемых элементов;
- проектирование зданий, дорог и площадок с использованием материалов, изделий и конструкций, полученных в процессе демонтажа;
 - инженерный надзор за проведением строительных работ.

Эта технология успешно применялась при демонтаже как промышленных, так и жилых зданий в городе Воронеж и повторном использовании полученных материалов и конструкций при строительстве множества объектов, таких как жилые здания малой этажности, гостиницы, торговые центры, гаражи, физкультурные центры, внутрипоселковые дороги, площадки и дренажные системы, которые соответствуют данным объектам [11-31].

Одно из главных преимуществ данной технологии — она способствует сохранению окружающей среды, так как для производства 1 м³ железобетонных конструкций нужно потратить от 5000 до 6000 кг условного топлива, а сжигание 1 т условного топлива приносит ощутимый экологический вред, так как происходит выброс углекислого газа и расход кислорода. Повторное использование огромных объемов железобетонных конструкций позволяет избежать теплового загрязнения атмосферы.

Кроме того, стоимость построенных объектов резко снижается, а также происходит уменьшение логистических затрат благодаря полной загрузке транспорта [11–31].

При поэлементном демонтаже часто образуется бой каменных материалов. Механогидрохимическая активация, предполагает дробление, перемешивание и уплотнение боя каменного материала с диспергированной глиной дает на неоднородных грунтах и подтапливаемых территориях 25-50 кратный рост прочности и модуля упругости с превращением из неоднородных грунтов оснований в однородные прочные, водостойкие, грунтовые композиты в качестве оснований фундаментов.

Снос зданий методом поэлементного демонтажа позволяет получить рентабельность от 3 до 5 тысяч за 1 м³ и снизить стоимость строительства на 1/3, при этом снизить рост свалок ТБО.

Стоимость продажи б/у строительных элементов по анализу интернет сервиса «Авито»:

Бой кирпича бетона строительного лома – 270 р. за тонну.

Шлакоблок б/у-полублок б/у -30 р.

Плита Крупнопанельная железобетонная 3500 р.

Результаты и их обсуждения

Проведя сравнительный анализ экономической и экологической эффективности существующих методов сноса: технологии механического обрушения, а также технологии «умного» сноса с технологией замкнутого цикла, разработанной и внедренной специалистами ВГТУ можно выделить существенные плюсы и минусы этих методов. Строительная технология замкнутого цикла обладает рядом преимуществ, к которым относится:

- экологическая эффективность (после поэлементногодемонтажа образуются строительные элементы, которые можно и нужно использовать повторно. Таким образом поэлементный демонтаж, согласно[11-31], минимизирует количество отходов и уменьшает воздействие на окружающую среду, снижая загрязнение воздуха, почвы и воды;
- экономическая эффективность (все б/у строительные материалы, полученные в результате монтажа, могут быть заново реализованы на территории РФ, что не может быть осуществлено при механическом сносе зданий методом обрушения, так как все строительные материалы после сноса отправляются на свалку, что значительно увеличивает расходы на перевозку, утилизацию, а также на содержание свалки и последующую рекультивацию территории). Также сокращаются расходы непосредственно на демонтаж, сокращая количество отходов и уменьшая необходимость в транспортировке. Транспортные расходы

на вывоз материалов сокращаются на 40% в связи с более полной загрузкой автотранспорта.

Поэлементный демонтаж является более безопасным методом демонтажа зданий, так как предусматривает использование специальных инструментов и технологий, которые уменьшают риск повреждения окружающих зданий, объектов и инфраструктуры, а также обеспечивают безопасность для рабочих и окружающей среды.

В результате исследований были выделены следующие материалы, которые способны к повторному использованию после разборки зданий и сооружений:

- кирпич;
- железобетонные конструкции;
- брус, доска;
- шлак и другие утеплители;
- строительный мусор.

Заключение. За последние тысячелетия температура выросла на 15 градусов, и имеется тенденция, которая грозит резким изменением климата на планете, связанная с освобождение огромных объемов углекислого газа из мирового океана, болотных газов из болот заполярья.

Идет постоянный рост выбросов объемов углекислого газа, связанных с человеческой деятельностью, и до 1/3 объемов связаны с производством строительных материалов. Поэтому работы, связанные со снижением объема выбросов углекислого газа при производстве строительных материалов, являются актуальными.

Объёмы строительного мусора за последние 10 лет в России выросли в 8,7 раза и достигли 96,3 млн. т. За 2022 год объем строительного мусора в Москве и МО достиг 60 млн. т. Таким образом, Москва и МО дает более половины объема всего строительного мусора, производимого в нашей стране.

Проанализировав данные по объемам строительного мусора, попадающего на полигоны ТБО, можно сделать вывод о том, что повторное применение

строительного мусора при малоэтажном строительстве позволит уменьшить его количество почти на 70 млн. тонн.

По итогу наших исследований был проведен анализ и составлена сравнительная характеристика применяемых методов сноса зданий: метод механического обрушения и технология «умный снос» с технологией замкнутого цикла.

В результате чего можно сделать вывод: существующие 2 метода сносаприводят к постоянному росту объемов свалок строительного мусора; поэлементный демонтаж является наиболее подходящим вариантом в настоящее время.

У сноса методом обрушения есть единственное достоинство: скорость, так как при использовании технологии замкнутого цикла требуется дополнительное время для подготовки здания, сооружения для поэлементного демонтажа.

Список литературы

- 1. Вайцзеккер Э., Ловинс Э., Ловинс Л. «Фактор четыре».
- 2. Российский национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом.
- 3. СП325.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила производства работ при демонтаже и утилизации.
- 4. Фахратов М.А., Сулейманов Х.А., Болотин О.А. Особенности бетонирования и демонтажа зданий в рамках поэлементной системы. Журнал «Инновации и инвестиции», 2018; 4:341-344.
- 5. Jesus S., Maia C., Farinha C.B., de Brito J., Veiga R. Rendering mortars with incorporation of very fine aggregates from construction and demolition waste. Construction and Building Materials. 2019: 229. DOI: 10.1016 / j.conbuildmat. 2019.116844

- 6. Повторное использование строительных отходов при возведении малоэтажных зданий и сооружений как возможность решения экологической проблемы. Насонова Т.В., Золотухин С.Н., Потехин И.А.
- 7. Новый способ устройства свайных фундаментов при малоэтажном строительстве с использованием микросвай в вытрамбованных скважинах. Золотухин С.Н., Новикова К.К.
- 8. Рациональное строительство с повторным использованием строительных материалов, конструкций, изделий после сноса зданий. Золотухин С.Н., Насонова Т.В., Потехин И.А.
- 9. Возможности создания регионального кластера повторного использования строительных отходов. Золотухин С.Н., Трегубова Е.А., Потехин И.А.
- 10. Повторное использование железобетонных элементов зданий в конструкции фундаментов. Золотухин С.Н., Луганский В.И., Назаренко Н.Г., Демиденко А.И., Макарычев К.В., Завалина Е.А., Барабаш А.Д.
- 11. Возможности создания регионального кластера повторного использования строительных отходов. Журнал «Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона». 2018. № 10. С. 209-212. Абраменко А.А., Трегубова Е.А., Потехин И.А.
- 12. Рациональное строительство с повторным использованием строительных материалов, изделий, конструкций после сноса зданий. Журнал «Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона». − 2018. −
 № 10.С. 206-209. НасоноваТ.В., Потехин И.А.
- 13. Designing and constructing foundations on a landslide slope (научнаястатьянаанглийскомязыке, Scopus). Сборник трудов конференции: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Том 463, Part 3. Vladivostok, 2018. С. 032088. Чигарев А.Г., Абдуллоев А.Р.
- 14. Повторное использование строительных отходов при возведении малоэтажных зданий и сооружений, как возможность решения экологической проблемы. Сборник трудов конференции: Проблемы современных экономиче-

- ских, правовых и естественных наук в России синтез наук в конкурентной экономике. 2018. С. 17-19. Насонова Т.В., Потехин И.А.
- 15. Новый способ устройства свайных фундаментов при малоэтажном строительстве с использованием микросвай в вытрамбованных скважинах. Научная опора Воронежской области. Сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. Воронеж,— 2018. С. 119-121. Новикова К.К.
- 16. Повторное использование железобетонных элементов зданий в конструкциях фундаментов. Журнал «Химия, физика и механика материалов». 2019. № 1(4). С. 72-91. Луганский В.И., Назаренко Н.Г., Макарычев К.В., Борисова М.И., Завалина Е.А., Барабаш А.Д.,Демиденко А.И.
- 17. Потенциал сокращения негативного влияния строительной отрасли на окружающую среду за счет повторного использования строительных материалов. Журнал «Строительство и недвижимость». 2019. № 1(4). С. 19-25. Понявина Н.А., Добросоцких М.Г., Потехин И.А.
- 18. Совершенствование технологии укрепления грунтов с одновременным проведением инженерно-геологических изысканий. «Инновационные, информационные и коммуникационные технологии» Сборник трудов XVI международной научно-практической конференции, 2019. № 1. С. 511-515. Чигарев А.Г., Ларионов С.Г.
- 19. Развитие инновационных технологий в строительстве как фактор повышения эффективности стратегии импортозамещения (научная статья, ВАК). Журнал ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. 2019. Т. 16. № 9. С. 53-57. Абраменко А.А., Кукин Л.А., Еремин А.В.
- 20. Обзор критериев выбора при сносе зданий. Журнал «Строительство и недвижимость». -2020. -№ 2(6). С. 106-115. Понявина Н.А., Потехин И.А.
- 21. Снос зданий и использование материалов, образующихся при реновации городских территорий (научная статья, ВАК). Журнал «Вестник МГСУ». –

- 2020. Т.15. № 2. С. 271-293. Колодяжный С.А., Абраменко А.А., Артемова Е.А.
- 22. Design and construction of a low-rise residential building on a landslide slope (научнаястатьянаанглийскомязыке, Scopus). Сборник трудов конференции: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering International Science and Technology Conference «FarEastCon 2019». Том 753, 4, Chapter 3. 2020. С. 042016. Биндюкова Е.А., Кукина О.Б.
- 23. Экологические проблемы строительной отрасли и пути их решения. Сборник трудов конференции: X Международной научно-практической конференции. 2021. Кукина О.Б., Волков В.В., Цыплаков А.Н.68.
- 24. Разработка и внедрение строительных технологий замкнутого цикла. Журнал «Химия физика и механика материалов». 2022. № 3(34). С. 58-74. Стукалин А.А., Харина А.О.
- 25. Некоторые аспекты разработки и внедрения строительных технологий замкнутого цикла. Журнал «Химия физика и механика материалов». 2022. № 3(34). С. 47-57. Ёкубов С.А.
- 26. Разработка строительных технологий замкнутого цикла при строительстве жилых домов. Журнал «Химия физика и механика материалов». 2022. № 3(34). С. 143-153. Воротынцев И.В.
- 27. Экологические проблемы, связанные со строительной отраслью и методы их решения. Журнал «Химия физика и механика материалов». 2022. № 3(34). С. 129-142. Глотова К.А., Букша С.Н.
- 28. Оптимизация системы ресурсосберегающего обращения со строительными отходами в Воронежской области как фактор снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду. Сборник научных трудов III Всероссийской научной конференции с международным участием. Красноярск, 2022. С. 694-703. Ашихмина Т.В., Куприенко П.С., Помогалов В.А.
- 29. Способ изготовления сплошных плитных фундаментов коробчатого сечения из ребристых плит перекрытия. Патент на изобретение RU 2647521 C1,

- 16.03.2018Заявка № 2017107309 от 06.03.2018. Абраменко А.А., Кукина О.Б., Колодяжный С.А., Вязов А.Ю., Лобосок А.С., Милованова В.И.
- 30. Способ возведения стенчатого фундамента с использованием ребристых плит перекрытий (покрытий). Патент на изобретение RU 2671019 C1, 29.10.2018Заявка № 2017118843 от 29.10.2018. Абраменко А.А., Кукина О.Б., Колодяжный С.А., Вязов А.Ю., Лобосок А.С., Милованова В.И.
- 31. Способ изготовления ленточного фундамента из тонкостенных железобетонных плит с заполнением пазух уплотненным грунтом или грунтобетоном. Патент на изобретение RU 2734504 C1, 19.10.2020Заявка № 2019133432А от 21.10.2019. Колодяжный С.А. Шмелев Г.Д., Мищенко В.Я., Абраменко А.А., Чигарев А.Г., Лобосок А.С., Артемова Е.А., Потехин И.А.

Бахметьев Кирилл Александрович — студент 2-го курса строительного факультета гр. мИОФ-211 Воронежского государственного технического университета **Куприенко Павел Сергеевич** — д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой техносферной и пожарной безопасности Воронежского государственного технического университета **Ашихмина** Татьяна Валентиновна — канд. геогр. наук, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности Воронежского государственного технического университета **Букша Сергей Николаевич** — канд. техн. наук, старший преподаватель Военного учебнонаучного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

ПЕРСОНАЛИИ

ПАМЯТИ ПРОФЕССОРА ВЛАДИМИРА АЛЕКСЕЕВИЧА ШАПОШНИКА



22.10.1935 - 24.11.2023

24 ноября ушел из жизни выдающийся ученый и преподаватель, доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии Шапошник Владимир Алексеевич. Вся жизнь В.А. Шапошника является ярким свидетельством беззаветной преданности науке, наполнена множеством ярких страниц и достижений.

Владимир Алексеевич родился в 1935 г. в Белгородской области. Закончив с золотой медалью среднюю школу, в 1953 г. поступил на химический факультет Воронежского государственного университета. После его окончания работал в Липецкой области на первом в стране комбинате по производству кремнийорганических полимеров. В 1962 г. В.А. Шапошник поступил в аспирантуру Воронежского технологического института, в 1966 г. защитил кандидатскую диссертацию. В 1979 г. он был избран заведующим кафедрой органической химии Воронежского сельскохозяйственного института, в 1982 г. защитил в Ленинградском университете диссертацию на соискание ученой степени доктора химических наук, посвященную математическому моделированию электродиализа и физико-химическим основам глубокого обессоливания воды.

В 1983 г. В.А. Шапошник был приглашен на кафедру аналитической химии Воронежского государственного университета, которая десятки лет являлась базовой организацией секции «Ионообменная технология» Научного Совета по хроматографии АН СССР. В 1988 году он был избран заведующим кафедрой и занимал эту должность до 1998 года.

В.А. Шапошник стоял у истоков разработки технологии глубокой электромембранной очистки воды для микроэлектроники, развил метод многочастотной лазерной интерферометрии, внес большой вклад в теорию массопереноса амфолитов, математическое моделирование процесса электродиализа, предложил контактно-разностный метод измерения электропроводности мембран. Основные научные работы В.А. Шапошника относятся к области мембранной электрохимии и электромембранной технологии, ионного обмена и ионообменных материалов. Им предложены новые методы: глубокой очистки воды, измерения электропроводности и теплофизических свойств мембран. Наибольший резонанс в научном мире получили выполненные им с коллегами исследования по производству ультрачистой воды электродиализом с ионообменными мембранами и заполнением межмембранного пространства смешанным слоем катионо- и анионообменников, на основании которых был создан промышленный аппарат. В.А. Шапошником обнаружены новые нелинейные явления переноса ионов при электродиализе амфолитов: барьерный и циркуляционный эффекты, стимулированный транспорт биполярных ионов через ионоселективные мембраны. Им разработан лазерный интерферометрческий метод исследования концентрационных профилей в диффузионных слоях на межфазных границах и впервые изучены диффузионные слои на границах раствора электролитов с ионообменниками и ионообменными мембранами. Введены новые представления об элементарном акте транспорта ионов в ионообменниках, основанные на определяющей роли реакции переноса водородной связи между фиксированными ионами.

Результаты научной деятельности В.А. Шапошника отражены во многих публикациях – их без малого 800, среди которых несколько монографий и

учебных пособий, авторских свидетельств СССР и патентов Российской Федерации. В 1985 г. ему присуждено ученое звание профессора, а в 2003 г. – почетное звание «Заслуженного деятеля науки Российской Федерации». В.А. Шапошник был членом диссертационных советов по специальностям физическая химия и электрохимия, аналитическая химия, он был членом бюро Научного совета РАН по адсорбции и хроматографии, членом Научного совета РАН по аналитической химии. Кроме основной научной темы, В.А. Шапошник глубоко интересовался философией и историей науки, являлся Председателем секции истории аналитической химии в Научном Совете по аналитической химии РАН.

Уход Владимира Алексеевича - личная утрата для каждого, кто долгие годы работал с ним, был его студентом, аспирантом, коллегой, другом. Это тяжелая потеря для всех ученых-химиков Воронежа, и не только нашего города и нашей страны. Всем нам будет очень не хватать этого разностороннего талантливого Человека и Ученого!

Селеменев Владимир Федорович – д-р хим. наук, профессор Воронежского государственного университета

Елисеева Татьяна Викторовна — канд. хим. наук, заведующий кафедрой аналитической химии Воронежского государственного университета

Долгоносов Анатолий Михайлович – д-р хим. наук, ведущий сотрудник ГЕОХИ Российской академии наук

Хамизов Руслан Хажсетович — д-р хим. наук, член-корреспондент Российской академии наук, директор ГЕОХИ Российской академии наук

Научное издание

ХИМИЯ, ФИЗИКА И МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

Выпуск № 4 (39), 2023

Научный журнал

В авторской редакции

Дата выхода в свет: 25.12.2023. Формат 60×84 1/8. Бумага писчая. Усл. печ. л. 12,7. Уч.-изд. л. 8,8. Тираж 35 экз. Заказ № 440 Цена свободная

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» 394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии издательства ВГТУ 394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84