

Химия, физика и механика
материалов

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

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

***ФГБОУ ВО «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»***

**ХИМИЯ, ФИЗИКА И МЕХАНИКА
МАТЕРИАЛОВ**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

- ХИМИЯ
- ФИЗИКА
- ТЕХНОЛОГИЯ И ПЕРЕРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ
- МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
- ЭКОЛОГИЯ

Выпуск № 3 (34), 2022

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 хим. наук, проф. А.В. Белик (г. Челябинск, ЧГУ), д-р техн. наук, проф. В.В. Белов (г. Тверь, ТвГТУ); д-р техн. наук, проф. А.Ф. Бурьянов (г. Москва, МГСУ), д-р физ.-мат. наук, проф. П.А. Головинский (г. Воронеж, ВГТУ); д-р физ.-мат. наук, проф., акад. 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 техн. наук, проф. В.Я. Манохин (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. В.Я. Мищенко (г. Воронеж, ВГТУ); 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. Г.В. Несветаев (г. Ростов-на-Дону, ДГТУ); д-р техн. наук, доц. В.А. Небольсин (г. Воронеж, ВГТУ), д-р техн. наук, проф. Г.И. Овчаренко (г. Барнаул, АлтГТУ), д-р техн. наук, проф. С.Л. Подвальный (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 техн. наук, проф. Ш.М. Рахимбаев (г. Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова); д-р хим. наук, проф. Г.В. Славинская (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. Г.С. Славчева (г. Воронеж, ВГТУ), д-р физ.-мат. наук, проф. О.В. Стогней (г. Воронеж, ВГТУ); д-р техн. наук, проф. А.А. Трещев (г. Тула, ТулГУ); д-р техн. наук, проф. У.М. Турдалиев (Республика Узбекистан, АндМИ), проф. О.Л. Фиговский (Haifa, Israel, IPAOV), д-р техн. наук, проф. О.Н. Филимонова (г. Воронеж, ВГУИТ), д-р техн. наук Н.В. Шелехова (г. Москва, ВНИИПБТ), д-р техн. наук, проф. Е.С. Шинкевич (г. Одесса, Одесский архитектурно-строительный университет, Украина), д-р физ.-мат. наук, проф. М.В. Шитикова (г. Воронеж, ВГТУ).

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 техноферной безопасности.

Издание рекомендуется специалистам по промышленному и гражданскому строительству, материаловедом, технологам, инженерам, научным сотрудникам, преподавателям, аспирантам и студентам архитектурно-строительных 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.: (473) 2369350, (473)2717617

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

СОДЕРЖАНИЕ

ХИМИЯ

Шалимов Ю.Н., Рудаков О.Б., Некрасов Е.Н., Бирюков М.И., Кудряш В.И., Шалимов Д.Л., Кондратьев М.М., Чаплыгин А.А., Брысенкова Н.В.

О некоторых аспектах водородной энергетики с применением материалов на основе алюминия..... 4

Рудаков Я.О., Аббуд М., Рудаков О.Б., Хорохордин А.М.

Хроматографический контроль качества и безопасности канцелярских товаров..... 22

ФИЗИКА

Мокшина Н.Я., Пахомова О.А., Полтева А.В., Букиа М.С.

Исследование экстракции и электрофоретического определения теобромона в иван-чае... 38

ТЕХНОЛОГИЯ И ПЕРЕРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

Ёкубов С.А., Золотухин С.Н.

Некоторые аспекты разработки и внедрения строительных технологий замкнутого цикла..... 47

Золотухин С.Н., Стукалин А.А., Харина А.О.

Разработка и внедрение строительных технологий замкнутого цикла..... 58

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Славчева Г.С., Артамонова О.В., Шведова М.А., Бабенко Д.С.

Экспериментальные исследования пластичности и формоустойчивости, модифицированных цементных смесей на известняковой муке для строительной 3D-печати..... 75

Белькова Н.А., Яценко Т.А., Бражникова В.А.

К вопросам улучшения качества малых архитектурных форм из мелкозернистого бетона..... 93

ЭКОЛОГИЯ

Степанова А.О., Артамонова О.В.

Обзор современных методов борьбы с зимней скользкостью в России и за рубежом..... 105

Ивлева В.Ю.

Пример рационального строительства с повторным применением материалов, изделий и конструкций при строительстве жилого дома в с. Ямное, Воронежская область..... 117

Золотухин С.Н., Глотова К.А., Букиа С.Н.

Экологические проблемы, связанные со строительной отраслью, и методы их решения..... 129

Воротынцева И.В., Золотухин С.Н.

Разработка строительных технологий замкнутого цикла при строительстве жилых домов..... 143

ПЕРСОНАЛИИ

90 лет академику Золотову Юрию Александровичу..... 154

К 65-летию профессора Рудакова Олега Борисовича..... 157

К 75-летию со дня рождения профессора Суровцева Игоря Степановича..... 161

Памяти профессора Манохина Вячеслава Яковлевича..... 165

ХИМИЯ

УДК 544.6: 629.7

**О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ**

Ю.Н. Шалимов, О.Б. Рудаков, Е.Н. Некрасов, М.И. Бирюков, В.И. Кудряш,
Д.Л. Шалимов, М.М. Кондратьев, А.А. Чаплыгин, Н.В. Брысенкова*

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

**Адрес для переписки: Рудаков Олег Борисович, E-mail: robi57@mail.ru*

В статье обсуждены некоторые аспекты электрохимических процессов при анодном растворении алюминия, которые необходимо учитывать в создании оборудования для водородной энергетики. В исследовании приведены экспериментальные и теоретические разработки, выполненные коллективом авторов, обсуждены электротермограммы, характеризующие зависимость температуры прианодного слоя от плотности поляризующего тока и продолжительности электролиза.

Ключевые слова: водородная энергетика, хранение водорода, металлогидриды, анодное окисление алюминия

**ON SOME ASPECTS OF HYDROGEN ENERGY USING
ALUMINUM-BASED MATERIALS**

Yu.N. Shalimov, O.B. Rudakov, E.N. Nekrasov, M.I. Biryukov, V.I. Kudryash,
D.L. Shalimov, M.M. Kondratiev, A.A. Chaplygin, N.V. Brysenkova*

© Шалимов Ю.Н., Рудаков О.Б., Некрасов Е.Н., Бирюков М.И., Кудряш В.И., Шалимов Д.Л., Кондратьев М.М., Чаплыгин А.А., Брысенкова Н.В., 2022

**Correspondence address: Oleg Borisovich Rudakov, E-mail: robi57@mail.ru*

The article discusses some aspects of electrochemical processes during anodic dissolution of aluminum, which must be taken into account in the creation of equipment for hydrogen energy. The study presents experimental and theoretical developments carried out by a team of authors, discusses electrothermograms characterizing the dependence of the temperature of the anode layer on the density of the polarizing current and the duration of electrolysis.

Keywords: *hydrogen energy, hydrogen storage, metal hydrides, anodic oxidation of aluminum*

Водородная энергетика в настоящее время быстро развивается, в Германии уже ходят несколько поездов на водородном топливе, создаются опытные модели автомобилей, самолетов с водородными двигателями. Водород является эффективным ракетным топливом. Преимущество водородного топлива не только в теплоте его сгорания, но и в том, что при его сгорании образуется вода, что делает его абсолютно экологичным.

Сегодня выделяют три способа производства водородного топлива, которые обозначили условно тремя цветами. Традиционным и экономически наиболее выгодным считается производство водорода из угля, в результате чего получают «коричневый» водород. В этом способе образуются большие объемы парниковых газов, что противоречит современной политике декарбонизации, которая активно продвигается во всем мире. Сегодня около 90-95% всего объема водорода производится из природного газа - метана. Такой водород называется «голубым» и считается наиболее рентабельным. Стоимость его выработки составляет около 500 рублей за килограмм. При этом производство «голубого» водорода не считается 100%-но экологически чистым из-за использования метана в качестве исходного сырья. Что касается наиболее экологичного «зелено-

го» водорода, то его получают при помощи электролиза воды. Такой метод производства обходится дороже предыдущих рассматривается в качестве водородной энергетики будущего, то есть, «зеленый» водород считается трендом в энергетике, на него возлагают большие надежды как на заменитель природного газа. В настоящее время активно ведутся исследования в области разработки дешевого способа получения «биоводорода» с применением микробов.

При создании твердотельных носителей водорода, более безопасных, чем баллоны со сжатым газом, особое внимание привлекает алюминий и его гидриды. В монографии В. Г. Левича «Физико-химическая гидродинамика» сформулированы основные положения теории формирования атомных структур из водных растворов электролитов, а также раскрываются некоторые представления о теплофизических механизмах формирования этих структур [1]. Наиболее контрастно последнее проявлялось при определении механизма анодного окисления алюминия [2,3].

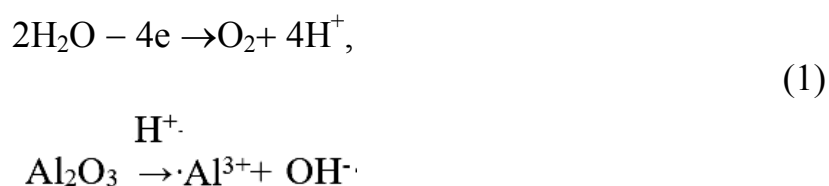
«Впервые наличие тепловых явлений на электродах в электрохимических системах были выявлены проф. Харьковского императорского университета Н. Н. Бекетовым в середине XIX века. Он обосновал представление о том, что тепловые эффекты связаны с изменением природы структур электролитов, которые зависят от направления протекания реакций, от состояния реагентов и внешних условий. Его работы были продолжены профессором Грицаном Д. Н., Шатровским Г. Л., Лариным В. И., Калугиным В. Д., а впоследствии в работах Фаличевой А. И.» [3].

Как известно [2,3], «анодное растворение металлов лежит в основе размерной электрохимической обработки и других процессов, связанных с окислением металла в растворе электролита. Весьма интересны такие процессы при их протекании на алюминии в водных растворах электролитов, которые осложняются наличием на его поверхности окисно-гидроксидных слоев и не описываются с позиций классических представлений электрохимии. К ним относятся увеличение скорости саморастворения металла при повышении температуры, в присутствии анионов-активаторов, выделение водорода на алюминиевом аноде

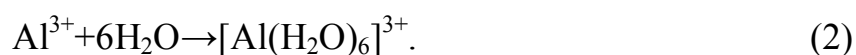
при потенциале, положительнее потенциала водородного электрода», сопряжение динамических параметров протекающих электрохимических реакций с динамическими параметрами тока [2,3].

Цель работы – рассмотреть некоторые аспекты электрохимических процессов при анодном растворении алюминия, которые необходимо учитывать в создании оборудования для водородной энергетики. В исследовании учтены экспериментальные и теоретические разработки Шалимова Ю.Н. с коллегами [2-4].

«Современные представления о теплофизике электрохимических процессов достаточно полно описываются классическим уравнением переноса импульса энтальпии за счет различных видов теплопередачи: излучением, конвекцией, химической компонентой, где переносом импульса энтальпии за счет первого компонента можно фактически пренебречь. Второе слагаемое уравнения, определяющее перенос импульса энтальпии за счет конвекции могут быть определены и подтверждены экспериментально. И, наконец, самый главный компонент – химическая составляющая. Роль этого компонента является определяющей, поскольку формульный вариант лишь формально отражает существо процесса, не раскрывая природы структур вещества и физико-химических преобразований. Что же касается образования гидроксокомплекса алюминия, то процесс осуществляется по схеме»[3]:



Далее протекает гидратация иона Al^{3+}



Образование гидратной оболочки с 6-ю молекулами воды обусловлено исключительной гидрофильностью иона Al^{3+} (малый радиус комплексообразователя при относительно большом заряде). При электролизе в 15% растворе NaCl возможен процесс разложения воды на аноде: см. на рис. 1 фото демонстрирует возможность такого процесса.

«Характер изменения температуры в приэлектродном слое имеет четко выраженное увеличение скорости изменения температуры. Такое изменение dT/dt связано с достаточно быстрым изменением теплофизических свойств электролита и наличием на аноде двух сопряженных процессов окисления воды и образования гидроксоалюмината при анодном растворении алюминия. При этом реакция дезинтеграции кислорода протекает с различными скоростями» [2-4].

Для определения температуры в зоне реакции подходит уравнение Нерста – Петерса

$$E = E^{\circ} + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a(ox)}{a(red)} \dot{a}(H^+). \quad (3)$$



Рис. 1. Образование газообразного кислорода на аноде при окислении алюминия в 15% растворе NaCl при T раствора 40С, катод нержавеющей сталь X18H9T

На рис. 2 приведены электротермограммы, характеризующие зависимость температуры прианодного слоя от плотности поляризующего тока и продолжительности электролиза. Они могут быть выражены в основном тремя типами кривых.

Математическое описание этих зависимостей согласно [1,4] определяется по следующим формулам:

$$\Delta T = k \cdot \tau, \quad (4)$$

$$\Delta T = \frac{\tau}{a + \frac{1}{i} \tau}, \quad (5)$$

$$\Delta T = \frac{\tau}{a + V_{\text{пр}} \cdot i_a}. \quad (6)$$

Коэффициент k в (4) зависит только от плотности тока, поэтому его определение легко реализовать. Для решения уравнений (5) и (6) пригодны полиномы n -ой степени. Для этого применимы системы общего вида:

$$\Delta T = A \cdot i + B \cdot i^2 + C \cdot i^3 + \dots + D \cdot i^n, \quad (7)$$

$$\Delta T = K \cdot \tau + L \cdot \tau^2 + M \cdot \tau^3 + \dots + N \cdot \tau^n. \quad (8)$$

В (7) и (8) i – плотность тока, а τ – продолжительность электролиза. При различных значениях плотности тока можно построить зависимости $\Delta T = f(i, \tau)$, представляющие собой поверхность температурного поля для любых произвольно выбранных значений плотности тока и продолжительности электролиза.

«Недостатком указанного способа решения задачи является неоднозначность коэффициентов полинома и отсутствие их явной корреляции с технологическими параметрами процесса. Поэтому, для определения температуры электрода, в зависимости от технологических параметров электрохимического

процесса, был предложен вариант решения задачи, исключая указанные выше недостатки» [4].

Определение температуры в зоне электрохимической реакции через такие параметры процесса как величины i и τ имеет ряд неоспоримых преимуществ перед итерационным способом, рассмотренном выше. Знание реализуемой на поверхности электрода температуры позволяет прогнозировать не только основные кинетические параметры процесса, но и оценить вероятность перераспределения составляющих компонентов суммарной электрохимической реакции [2]. На рис. 2 представлены зависимости температуры в зоне электродной реакции от плотности тока и продолжительности электролиза для процесса анодного растворения алюминия.

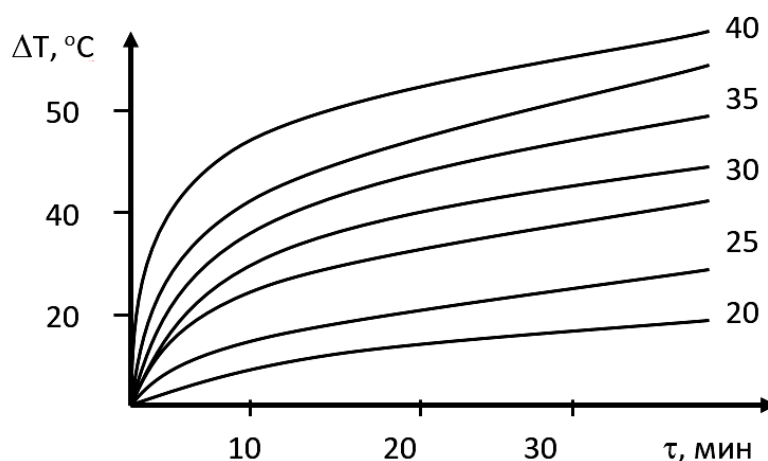


Рис.2. Зависимость температуры электрода от плотности анодного тока и продолжительности электролиза при различных значениях i_a (А/дм²)

Кривые такого типа могут быть адекватно описаны уравнением вида:

$$\Delta T_a = \frac{\tau_{\text{эксп}}}{a+b \cdot \tau_{\text{эксп}}}. \quad (9)$$

В уравнении (9) плотность тока будет связана с величиной коэффициента b . Поскольку ΔT_a связана с величиной плотности катодного тока прямой зави-

симостью, то можно принять $b = \frac{1}{i_a}$, тогда взаимосвязь ΔT_a с технологическими параметрами процесса определится выражением:

$$\Delta T_a = \frac{\tau_{\text{эксп}}}{a + \frac{1}{i_a} \cdot \tau_{\text{эксп}}}. \quad (10)$$

Таким образом, рассмотренные параметры электрохимического процесса оказываются взаимосвязаны через коэффициент a , который для различных значений указанных параметров можно найти из выражения:

$$a = \frac{\tau_{\text{эксп}} - \left(\frac{\tau_{\text{эксп}}}{i_a}\right) \cdot \Delta T_a}{\Delta T_a}. \quad (11)$$

В табл. 1 представлены результаты вычислений значения коэффициента a для нижнего и верхнего пределов плотности тока $i_a = 5$ и 50 А/дм^2 при промежуточных значениях $\tau_{\text{эл-за}}$ от 3 до 30 мин.

Таблица 1

Значение коэффициента a в зависимости от плотности тока и продолжительности электролиза

τ , мин	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
$i_a=5\text{А/дм}^2$	0.76	0.49	0.15	-0.2	-0.52	-0.93	-1.28	-1.61	-1.94	-2.18
$i_a=50\text{А/дм}^2$	0.16	0.146	$\frac{0.13}{2}$	$\frac{0.11}{7}$	0.102	0.088	0.073	0.058	0.043	0.029

Графические зависимости $a=f(\tau)$ при различных значениях i_a представлены на рис.3. Отклонения значений a на графиках от прямой линеаризации функции $a=f(\tau)$ проверяются методом обратных вычислений аналитических значений функции.

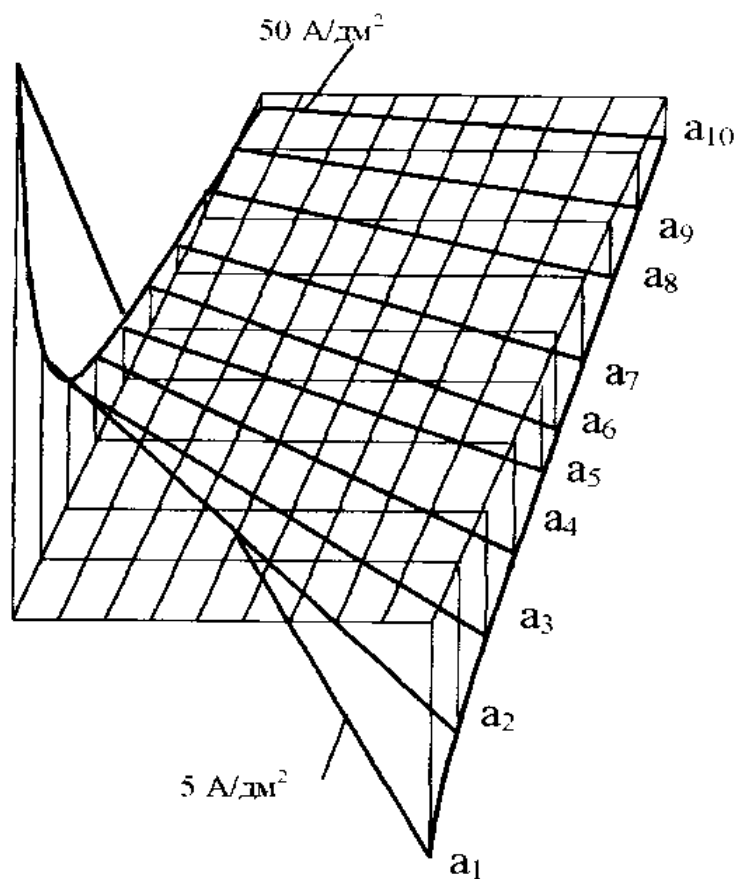


Рис. 3. Зависимость $a=f(\tau)$ для различных значений плотности анодного тока.
Номограммы аналитического расчёта температуры электрода

«Таким образом, подставляя значение a в формулу (4), можно рассчитать температуру на поверхности электрода в любой заданный момент времени при известной плотности анодного тока. Значение коэффициента a определяется с помощью приведенных на рис. 3 номограмм, представляющих собой серию отрезков прямых для каждой плотности тока, пересекающих ось τ в различных точках. Линейный характер изменения a от времени электролиза даёт возможность корректировки значения температуры в приэлектродном слое для точек, имеющих случайный выброс из серии измерений. Таким образом, математическая модель процессов тепловыделения на электродах, описываемых в общем виде кривыми насыщения, преобразуется относительно просто с помощью уравнения (4) и номограммы (рис. 3) в удобную для расчётов форму, использующую технологические параметры процесса. Локальное значение температуры в приэлектродной зоне определяет реальные условия процесса и поэтому явля-

ется одним из основных задаваемых параметров»[2]. Построение температурного поля в координатах *ток - время* приведены на рис. 4.

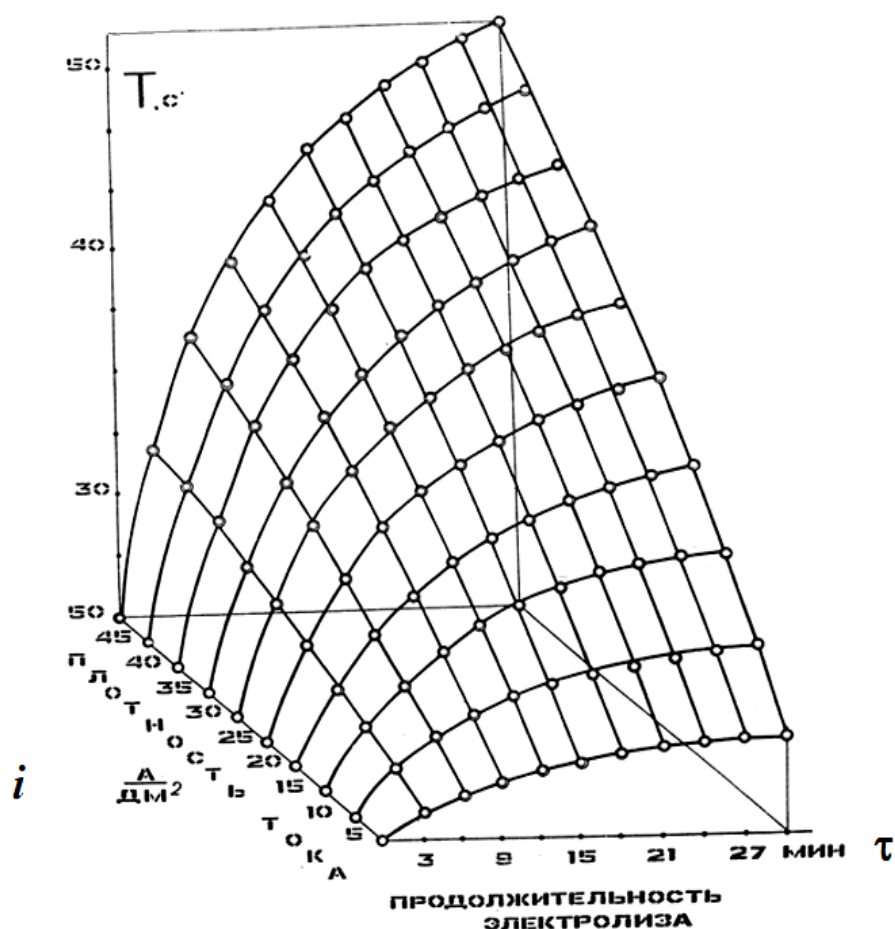


Рис. 4. Зависимость температуры электрода от плотности тока (*i*) и продолжительности электролиза (*τ*)

Поверхность, представляющая температурное поле электрода, описывается системой дифференциальных уравнений 2-го порядка и позволяет определить температуру электрода аналитически в любой момент времени при произвольно выбранном значении плотности тока.

«Функции $\Delta T=f(i_a)$ при $\tau=\text{const}$ и $\Delta T=f(\tau)$ при $i_a=\text{const}$ не имеют разрыва, что даёт основание предполагать, что на поверхности $\Delta T=f(i, \tau)$ отсутствуют аномальные точки. Поэтому определение промежуточных значений ΔT , соответствующих значениям *i* и *τ*, не лежащих непосредственно на линиях определения, можно осуществить методом аппроксимации» [2].

Для формирования пористых структур на поверхности Al предложен частотно-модулированный импульсный режим анодной обработки, при котором имеет место механизм образования пор, представленный на рис.5. Направим ось Ox вдоль длины поры, форму которой будем считать цилиндрической, начало координат поместим в точке входа в пору (рис. 5, а), переменную длину поры обозначим $l(t)$. Вследствие стационарности диффузии зависимость $l(t)$ параметрическая и определяется скоростью растворения материала фольги. Качественный характер изменения концентраций ионов и потенциала E в поре показан на рис. 5, б).

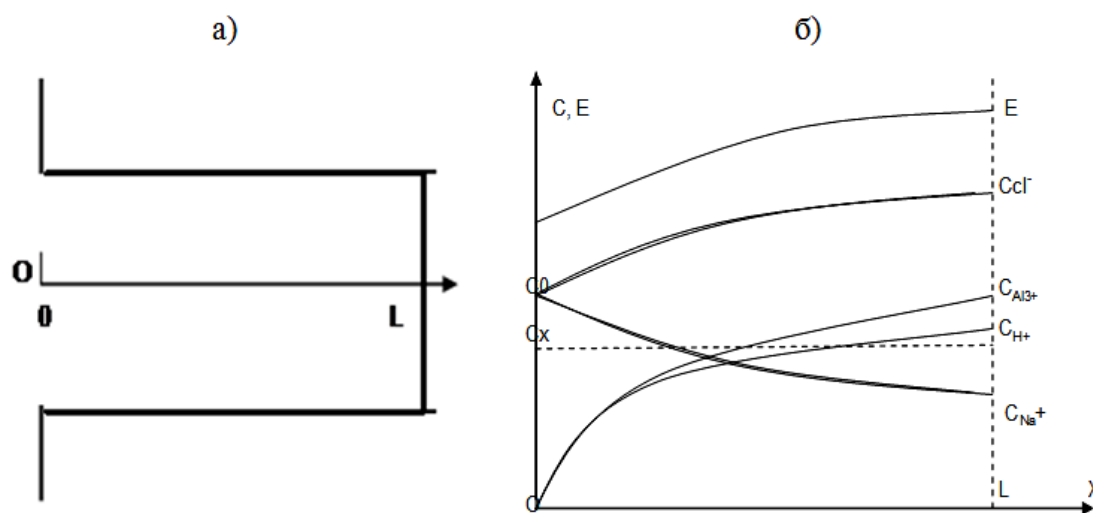


Рис. 5. Схемы роста поры

Сканирующие импульсы определяют развитие поры, их назначение, определение координаты зоны растворения и числа таких зон. Формирующие импульсы осуществляют развитие канала, одновременно глубину и ширину сферы травления. Чередования наборов сканирующих и формирующих импульсов дает ту форму (профиль), который представлен на рис. 6. Предлагаемый механизм направленного роста поры основывается на специфической зависимости скорости растворения алюминия от pH раствора: в слабо кислых растворах (до $pH \sim 3-4$) растворение практически отсутствует, Al находится в пассивном состоянии, тогда как в более кислых растворах скорость растворения резко возрастает [5,6].

Достижение необходимого уровня pH на дне поры обеспечивается электрохимическим действием тока. На рис. 6 показано схематическое изображение роста пор на алюминии при различной скважности импульса [6].

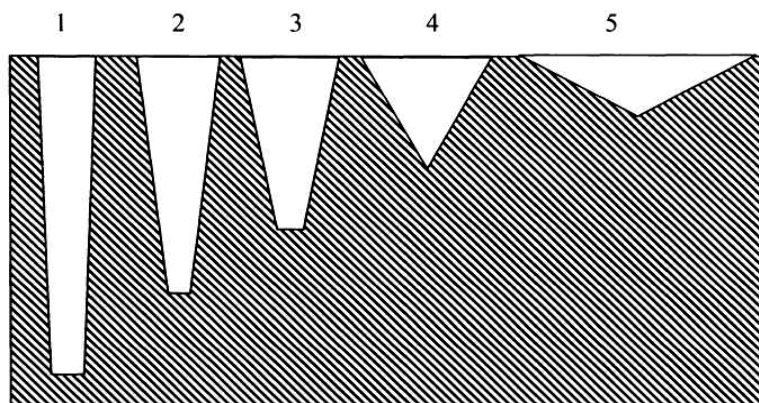


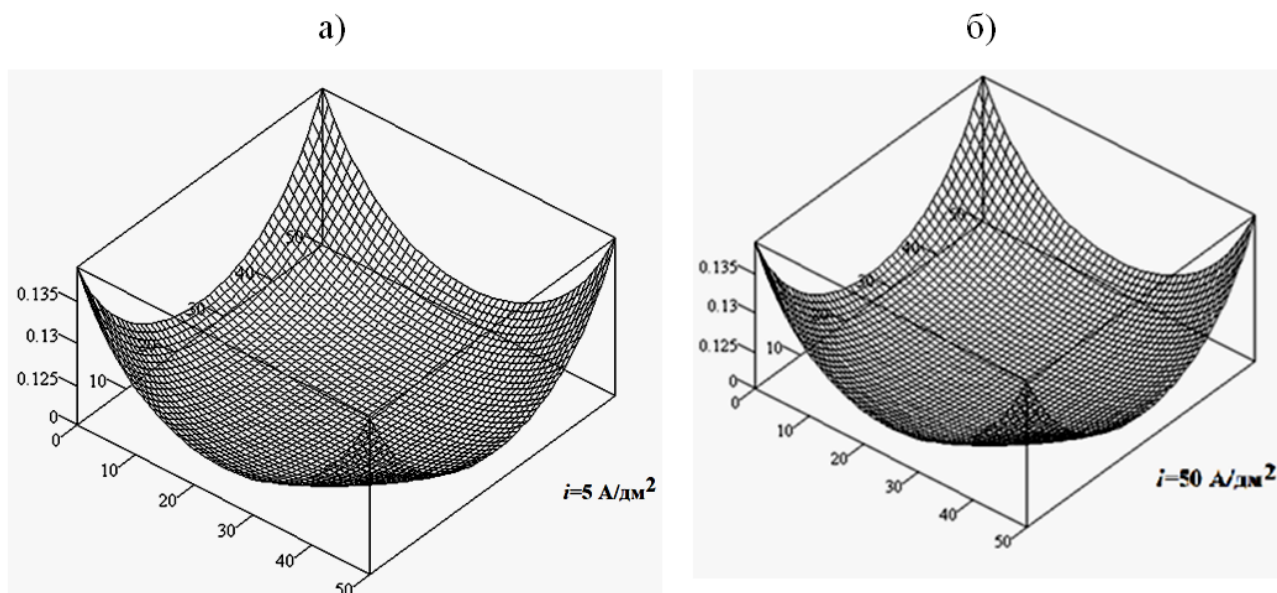
Рис. 6. Схематическое изображение формируемой поры для фольги из Al в зависимости от плотности тока. Плотность тока: 1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) 4 и 5) 5 А/дм²

По предварительным оценкам развитая поверхность фольги позволяет сорбировать более 10^{-3} моль/см² водорода [4].

Многочисленные эксперименты по анодной обработке Al [4] позволили установить, что «при функциональной зависимости скорости формирования пор определяющим аргументом является плотность анодного тока. На основании этих представлений были разработаны фрагменты модели идеализированной поры», которые представлены на рис. 5, перспективных для аккумуляирования водорода в форме металлгидридов для различных режимов работы.

«Математическое моделирование процесса анодной обработки алюминиевой фольги подтверждает гипотезу о приоритете плотности анодного тока перед другими аргументами, более того, эта модель позволила подтвердить механизм анодного окисления алюминия, исключая контакт и прямое взаимодействие атомов алюминия с раствором»[4].

Можно задавать поток реагирующих с поверхностью электрода заряженных элементарных частиц с учетом электропроводности, в этом случае графическое изображение взаимосвязей параметров процесса может быть представлено рис. 7 а, б.

Рис. 7. Зависимость электропроводности от T при разных i

Таким образом, в работах [2-3, 6] высказано и подтверждено экспериментальными данными предположение о том, что «на кинетику электродных процессов существенное влияние оказывает эффекты тепловыделения в зоне реакций и в межэлектродном пространстве. Раскрыта природа этих явлений и предложены методы компенсации тепловых эффектов за счет различных технологических приемов».

Предложен также метод расчета векторов перемещения заряженных и элементарных частиц под действием различных по природе полей (электрического, теплового, концентрационного и т.д.), позволяющий оценить реальную картину в зоне реакции, и таким образом определить достоверные значения основных параметров (температура, концентрация электролита, скорость реакции) электрохимической системы.

Установлено, что формирование и растворение оксида алюминия обусловлено реакцией окисления воды на аноде, а значение равновесного потенциала окисления при этом необходимо рассчитывать по формуле Нернста – Петерса.

Дальнейшее изучение свойств Al связано с его взаимодействием с водородом в различных структурах с образованием шестиугольных форм с неоднородной энергией связи. Такие структуры позволяют использовать гидриды алюминия как основу для накопителей водорода в картриджах для электромобилей (рис. 7).

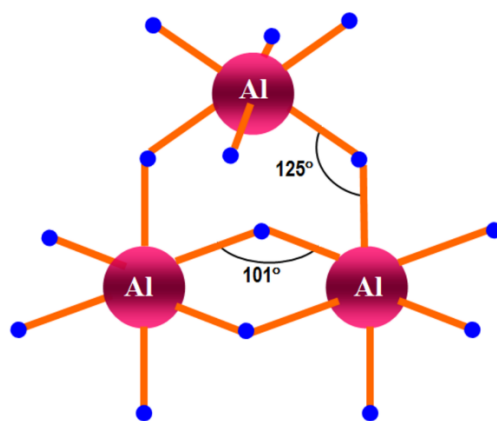
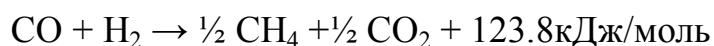
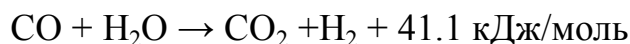
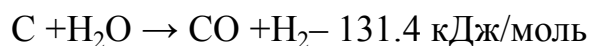
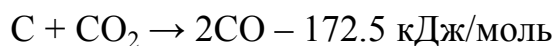
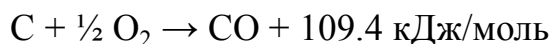
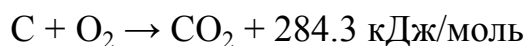


Рис. 7. Возможная структура гидрида алюминия [4]

В работе Э.А. Гранкина [5] было установлено, что в низкотемпературном диапазоне обнаружен пик внутреннего трения на температурной зависимости при изучении процессов восстановления алюминия из неводных растворов электролитов. Было отмечено, что это как раз и есть процесс формирования алюмогидрида по дефектам структуры, но самое интересное, что этот пик свидетельствует о том, что алюмогидриды могут быть сформированы в условиях неполного покрытия поверхности алюминия его оксидом. Такая условная «дырочная» проводимость подтверждает универсальность метода внутреннего трения в формировании алюмогидрида по дефектам структуры. Фактически это явление дает возможность обеспечить аккумуляцию водорода по его дефектам и использовать в качестве источника водородного топлива и рабочего твердого тела в сочетании с алюминием и водородом, т.е. для использования даже в космических полетах. Именно поэтому алюминию можно дать определение как металлу, пригодному для использования в летательных аппаратах различных типов и с возможностью регулирования скорости подачи водорода в систему движения. В месте с тем, использование неводных растворов электролитов, вызывает большую проблему в связи с высокой гидрофильностью ионов алюминия. Переход водорода из твердой фазы хранения в газообразную сопровождается эффектом дисплазии. Тем не менее у авторов статьи имеется готовое решение в реализации безопасных технологий. Эта проблема должна решаться комплексными методами, включающими прямые виды преобразования различных

видов энергии (*теплота-электричество, теплота-движения массы*). Такие технологии реально пока используются в небольших масштабах, но за ними будущее. В качестве энергетического преобразователя предлагается простая газогенераторная машина на твердом брикетном топливе. Появляется возможность резервирования гелиоэнергетики за счет переработки биомассы, количество которой является более чем избыточным. О симбиозе гелиоэнергетики и водородной энергетики состоялась беседа Шалимова Ю.Н. с высоким специалистом в этой области Ж. Алферовым. Он вывел водородную энергетику на первый план, но не как конкурирующую составляющую, а как перспективное направление развития энергетики в целом. И обоснованное мнение на принципе развития систем – принцип единства и борьбы противоположностей, действие которого непреложно в любой сфере научного познания. И второй принцип – устранение причины, способствующей возникновению нежелательного явления.

Ниже приводятся основные уравнения получения продуктов методом газогенерации.



Из этих реакций наиболее рационально используется только реакция окисления (сжигания топлива).

Следует упомянуть, что коллективом авторов разрабатываются технологии, исключающие неконтролируемое внесение удобрений для повышения урожайности зерновых культур, исключая миграции нитратов, сульфатов, карбона-

тов в водные ресурсы. Нами предложен рациональный метод формирования органоминеральных удобрений из отходов сырого навоза в виде гранул и суспензий. Пример такой системы переработки представлены на рис. 8. Одним из компонентов в продуктах газогенерации является водород, который можно направлять в водородную энергетику.

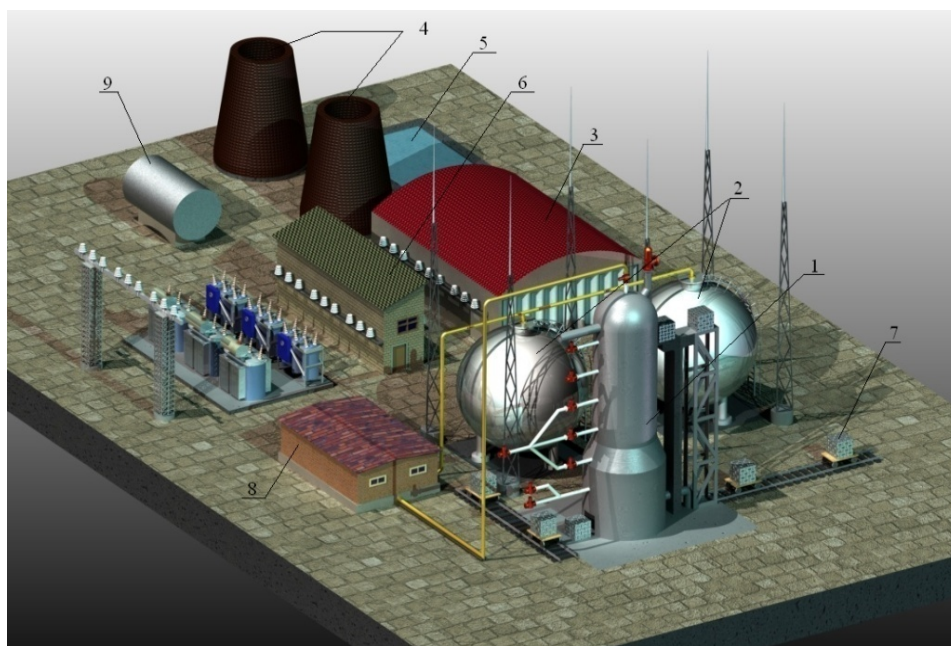


Рис. 8. Стационарный энергетический комплекс газогенерации.

- 1 – пиролизёр; 2 – газгольдер; 3 – энергоблок; 4 - градирня; 5 – теплообменный водоём;
6 – трансформаторная подстанция; 7 – контейнеры с топливом; 8 – бойлерная;
9 – накопитель жидкофазных фракций

Для успешного решения поставленных задач предполагается создать 5 исследовательских лабораторий: ИГЛА (исследовательская георесурсная лаборатория авиационных технологий) в ее задачи входит исследование свойств алюминия, титана и циркония. Алюминий по георесурсам является наиболее перспективным; АЭЛИТА (авиационная экспериментальная лаборатория искусственного алюмогидридного топлива) для решения безопасных технологий получения водородного топлива; ФАКТОР (функциональная авиакосмическая технология оперативного резервирования) с целью формирования системы, обеспечивающей резервирования при выходе из строя. Если система выведена из строя воздействием теплового импульса, то она защитит себя за счет изме-

нения положения; ФАКТОРИАЛ (функциональные авиакосмические технологии, основанные на решении инженерной аналитической логики) с задачей-ыскания технических и технологических решений, исключающих возможность сбоя работы системы; Лаборатория медицинских исследований для изучения возможностей работы персонала без влияния на состояние их здоровья в условиях космоса и межпланетных перелетов, исключающих методы нарушающих физиологию человека.

Список литературы

1. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. М.: Изд-во Физматгиз, 1959. 700 с.
2. Шалимов Ю.Н., Мандрыкина И.Н., Литвинов Ю.В. // Оптимизация электрохимического процесса обработки алюминиевой фольги в производстве конденсаторов. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2000. 343 с.
3. Шалимов Ю.Н. Влияние тепловых и электрических полей на электрохимические процессы при импульсном электролизе. Дисс. ... доктора техн. наук. Воронеж, 2006. 354 с.
4. Шалимов Ю.Н., Кудряш В.И. Теплофизические явления в электрохимических системах // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2020. Т. 84. № 9. С. 1251-1254. DOI 10.31857/S0367676520090306.
5. Гранкин Э.А., Спиридонов Б.А., Фаличева А.И. Влияние температуры отжига на анодное растворение электролитического алюминия // Защита металлов. 1990. Т. 26. № 3. С. 421-425.
6. Архипов В.В., Шалимов Ю.Н., Корольков В.И. [и др.]. Технологии альтернативной энергетики в авиастроении // Химия, физика и механика материалов. 2020. № 2(25). С. 169-178.

References

1. Levich V.G. Fiziko-himicheskayagidrodinamika. M.: Izd-vo Fizmatgiz, 1959. 700 p.

2. Shalimov Yu.N., Mandrykina I.N., Litvinov Yu.V. // Optimizaciya elektrohimičeskogo processa obrabotki alyuminievoj fol'gi v proizvodstve kondensatorov. Voronezh: Izd-vo VGTU, 2000. 343p.

3. Shalimov Yu.N. Vliyanie teplovyh i elektricheskih polej na elektrohimičeskie processy pri impul'snom elektrolize. Diss. ... doktora tekhn.nauk. Voronezh, 2006.354 p.

4. Shalimov Yu.N., Kudryash V.I. Teplofizicheskie yavleniya v elektrohimičeskikh sistemah // Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya fizicheskaya. 2020. T. 84. № 9.P. 1251-1254. DOI 10.31857/S0367676520090306.

5. Grankin E.A., Spiridonov B.A., Falicheva A.I. Vliyanie temperatury otzhiga na anodnoe rastvorenie elektroliticheskogo alyuminiya // Zashchita metallov. 1990. T. 26. № 3.P. 421-425.

6. Arhipov V.V., Shalimov Yu.N., Korol'kov V.I. [i dr.]. Tekhnologii al'ternativnoj energetiki v aviastroenii // Himiya, fizika i mekhanika materialov. 2020. № 2(25). P. 169-178.

Шалимов Юрий Николаевич– д-р техн. наук, профессор Воронежского государственного технического университета

Бирюков Михаил Иванович– генеральный директор ООО «Метрон»

Брысенкова Наталья Викторовна– соискатель, сотрудник АО «Концерн «Созвездие»

Кондратьев Максим Михайлович – соискатель Воронежского государственного технического университета

Кудряш Владлен Иванович – канд. физ.-мат. наук, доцент Воронежского института МВД РФ

Некрасов Евгений Николаевич – канд. техн. наук, заведующий кафедрой Воронежского государственного технического университета

Рудаков Олег Борисович – д-р хим. наук, заведующий кафедрой Воронежского государственного технического университета

Шалимов Денис Леонидович – соискатель Воронежского государственного технического университета

Чаплыгин Александр Александрович – канд. техн. наук, сотрудник АО «Концерн «Созвездие»

УДК 543.4:621.395.721.5

ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ КАНЦЕЛЯРСКИХ ТОВАРОВ

Я.О. Рудаков, М. Аббуд, О.Б. Рудаков, А.М. Хорохордин*

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

**Адрес для переписки: Рудаков Ярослав Олегович, E-mail: rudakov@vgasu.vrn.ru*

В кратком обзоре рассмотрены наиболее распространенные экотоксиканты, мигрирующие из материалов и изделий, используемых в канцелярских товарах. Показаны возможности различных хроматографических методов - тонкослойной, газовой, высокоэффективной жидкостной и ионной хроматографии (ТСХ, ГЖХ, ВЭЖХ и ИХ) в контроле качества и безопасности различных групп канцелярских товаров. Одним из наиболее перспективных и универсальных методов анализа канцелярских товаров является пиролизическая газовая хроматография с масс-спектрометрическим детектированием.

Ключевые слова: канцелярские товары, экотоксиканты, аналитическая хроматография

CHROMATOGRAPHIC QUALITY AND SAFETY CONTROL OF OFFICE SUPPLIES

Ya.O. Rudakov, M. Abbud, O.B. Rudakov, A.M. Khorokhordin*

*Voronezh State Technical University,
Russian Federation, 394006, Voronezh, ul. 20-letiya Oktyabrya, 84*

**Correspondence address: Yaroslav O. Rudakov, E-mail: rudakov@vgasu.vrn.ru*

In a brief review, the most common ecotoxicants migrating from materials and products used in office supplies are considered. The possibilities of various chromatographic methods - thin-layer, gas, high-performance liquid and ion chromatography (TLC, GLC, HPLC and IC) in quality control and safety of various groups of office supplies are shown. Pyrolytic gas chromatography with mass spectrometric detection is one of the most promising and universal methods for the analysis of office supplies.

Keywords: *office supplies, ecotoxicants, analytical chromatography*

Канцелярские товары являются бытовой продукцией, которой человек пользуется в ежедневном режиме как на работе, так и в домашней обстановке. Этот вывод очевиден из ассортимента канцелярских товаров: средства оргтехники; принадлежности для письма; предметы офисной техники; школьные товары; принадлежности для черчения; принадлежности для рисования. Ассортимент и групповая характеристика потребительских свойств канцелярских товаров представлен, например, на сайте [https://vuzlit.com /245586/ assortment gruppovaya_harakteristika_potrebitelskih_svoystv_kantselyarskih_tovarov](https://vuzlit.com/245586/assortiment-grupповaya-harakteristika-potrebitelskih-svoystv-kantselyarskih-tovarov)[1].

К средствам оргтехники относятся компьютеры, принтеры, сканеры, калькуляторы, пишущие машинки и т.п., в какой-то мере к оргтехнике можно отнести смартфоны [1,2].

Принадлежности для письма: карандаши, ручки, перья, пишущие узлы и баллончики для чернил, комплекты и приборы для письма, чернила и тушь.

Принадлежности для черчения: чертежные инструменты и наборы, чертежные доски и приборы, рейшины и другие чертежные принадлежности, стиральные резинки, кнопки [1,2].

Принадлежности для рисования: краски и кисти для рисования, вспомогательные материалы для живописных работ, грунтованные картон и холст, мольберты [1,2].

Вспомогательные материалы для живописных работ: масло, растворители, разбавители и лаки [1,2].

Канцелярские принадлежности для офиса: штемпельные краски и подушки, сургуч, принадлежности для скрепления бумаг: степлеры, дыроколы, скрепки, клей, ножи канцелярские и др.

К группе школьные товары относят некоторые товары, предназначенные для школьников и их обучения. Это: пеналы, точилки для карандашей, ученические циркули, счетные палочки, ранцы и ученические портфели, школьные мелки и др. [2].

Органы Роспотребнадзора при контроле качества и безопасности канцелярских товаров обращают внимание прежде всего, на маркировку товара, которая наносится на изделие, этикетку или товарный ярлык, на упаковку или листок-вкладыш к продукции, при этом анализируется информация о стране, где изготовлена продукция, адрес фирмы-изготовителя, наименование и изделия, вид и процентное содержание натурального и химического сырья в материале изделия и т.п. При контроле технико-эксплуатационных свойств товар, как правило, сравнивают с образцом сравнения.

Вместе с тем, в канцелярских товарах используются в большом количестве материалы из пластика, различные химические добавки для улучшения свойств продукции, которые могут представлять определенную опасность для здоровья потребителей. Практически все канцелярские товары выделяют опасные для здоровья компоненты.

Цель данного обзора – рассмотреть основные группы канцелярских товаров как потенциальные источники экотоксикантов и возможности контроля качества и безопасности этой продукции с применением хроматографических методов анализа.

В задачи аналитических лабораторий Роспотребнадзора в контроле качества продукции, безусловно, входит контроль идентификации высококачественной продукции, выявление контрафакта и фальсификации, контроль технико-эксплуатационных свойств, но и химической безопасности продукции. Безопасность школьно-письменных и канцелярских товаров характеризуется безвредностью для человека при их эксплуатации. К показателям безопасности

относят: содержание токсичных веществ в растворителях и разбавителях красок, мигрирующие летучие и смывающиеся компоненты полимерных, композиционных материалов, органических и неорганических пигментов. Необходим контроль допустимого уровня токсических веществ (ПДК): тяжелых металлов, техногенных экотоксикантов и даже контаминантов (люди, особенно дети, часто орально контактируют с канцтоварами, представьте, например, школьника, «жующего» ручку или карандаш во рту, ребенка, облизывающего пластиковую игрушку, и т.п.).

В табл.1 приведены наиболее значимые экотоксиканты, загрязняющие воздушную среду мебелью и канцелярскими товарами (КТ), в которой приведены ссылки на первоисточники, в которых описаны химические вещества и хроматографические способы их определения [3-20].

Таблица 1
Основные экотоксиканты, содержащиеся в офисной, школьной мебели и КТ

Вещество	Класс опасности	% обнаружения	Кратность превышения ПДК	Источники загрязнения	Ранг
Формальдегид, CH_2O [3,4]	2	100	1,0-5,8	Мебель, отделочные материалы, принадлежности для черчения	1
Фенол, $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ [5-11]	2	70	0,0-4,2	Мебель, отделочные материалы, принадлежности для черчения	2
Стирол, $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$ [12,13]	4	100	1-12,4	Средства оргтехники, отделочные материалы, принадлежности для письма, гаджеты	3
Диоксид азота, NO_2 [14]	2	76	0,0-6,0	копировальная техника	4
Оксид азота, NO [14]	3	84	0,0-2,7	копировальная техника	5
Свинец, Pb [15]	1	45	0,0-3,6	краски	6
Винилхлорид, $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ [16]	2	20	0,0-2,0	ПВХ материалы, принадлежности для письма	7
Этилбензол, $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ [17]	3	100	0,0-3,0	принадлежности для письма	8
Гексаналь, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CHO}$ [18]	3	100	1,0-5,4	Мебель, лаки, краски, парфюмерия	9
Ацетальдегид, CH_3CHO [19]	3	78	1,0-6,9	Мебель, лаки, краски,	10
Ацетофенон, $\text{C}_6\text{H}_5\text{C}(\text{O})\text{CH}_3$ [20]	3	60	1,0-4,0	Мебель, смолы, средства оргтехники	11

На рис.1. в качестве примера наличия вредных веществ в типичных канцелярских товарах приведена хроматограмма компонентов, выделяемых из полистирола, согласно МУК 2.3.3.052-96 «Санитарно-химическое исследование изделий из полистирола и сополимеров стирола. Методические указания». Напомним, что из полистирола изготавливают корпуса компьютеров, клавиатуру, корпуса мобильных телефонов, авторучки и другие принадлежности для письма (табл. 1.).

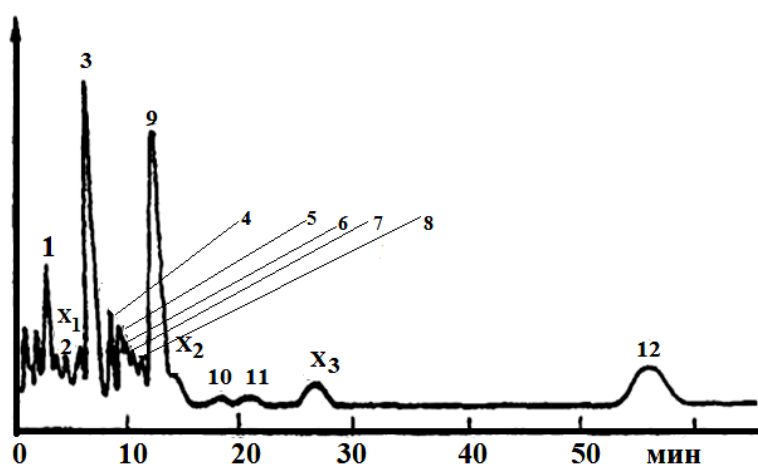


Рис. 1. Типовая ГЖХ-хроматограмма разделения остаточных мономеров и примесей в водных вытяжках из полистирола: 1 - бензол, 2 - толуол; 3 - этилбензол; 4 - *пара*-ксилол; 5 - *мета*-ксилол; 6 - изопропилбензол; 7 - *орто*-ксилол; 8 - н-пропилбензол, *пара*-метилэтилбензол, *мета*-этилтолуол; 9 - стирол; 10 - фенилацетилен; 11 - *пара*-метилстирол; 12 - бензальдегид; X₁, X₂, X₃ - неидентифицированные компоненты

Наиболее подходящими методами контроля экотоксикантов и контаминантов, мигрирующим из КТ, являются хроматографические методы. На рис.2. представлена схема, на которой дан обзор комплекса хроматографических методов, применимых для контроля экотоксикантов в КТ.

Летучие органические компоненты, кипящие до 300°C, предпочтительно анализируют с помощью капиллярной газожидкостной хроматографии (ГЖХ) с применением разных детектирующих устройств, для горючих веществ преимущественно используют пламенно-ионизационные детекторы (ДИП), для негорючих галогенпроизводных углеводородов – детекторы электронного захвата (ДЭЗ), для газообразных негорючих газов (CO₂, вода, оксиды азота и др.) – де-

текторы по теплопроводности. В последние 15 лет широчайшее распространение получили масс-спектрометрические детекторы (МС), которые по молекулярному иону и масс-спектру позволяют по специальным базам данных надежно идентифицировать аналиты. Менее летучие окрашенные и бесцветные компоненты определяют методом тонкослойной хроматографии (ТСХ). Это сравнительно недорогой метод, сопряженный с денситометрией и цифровой цветометрией, получил за 20 лет второе дыхание. Современные цифровые технологии позволяют точно оценить положение на пластине (R_f), размеры хроматографических пятен и интенсивность их окраски, подобраны наиболее эффективные хромофорные реагенты для проявления пятен [21].

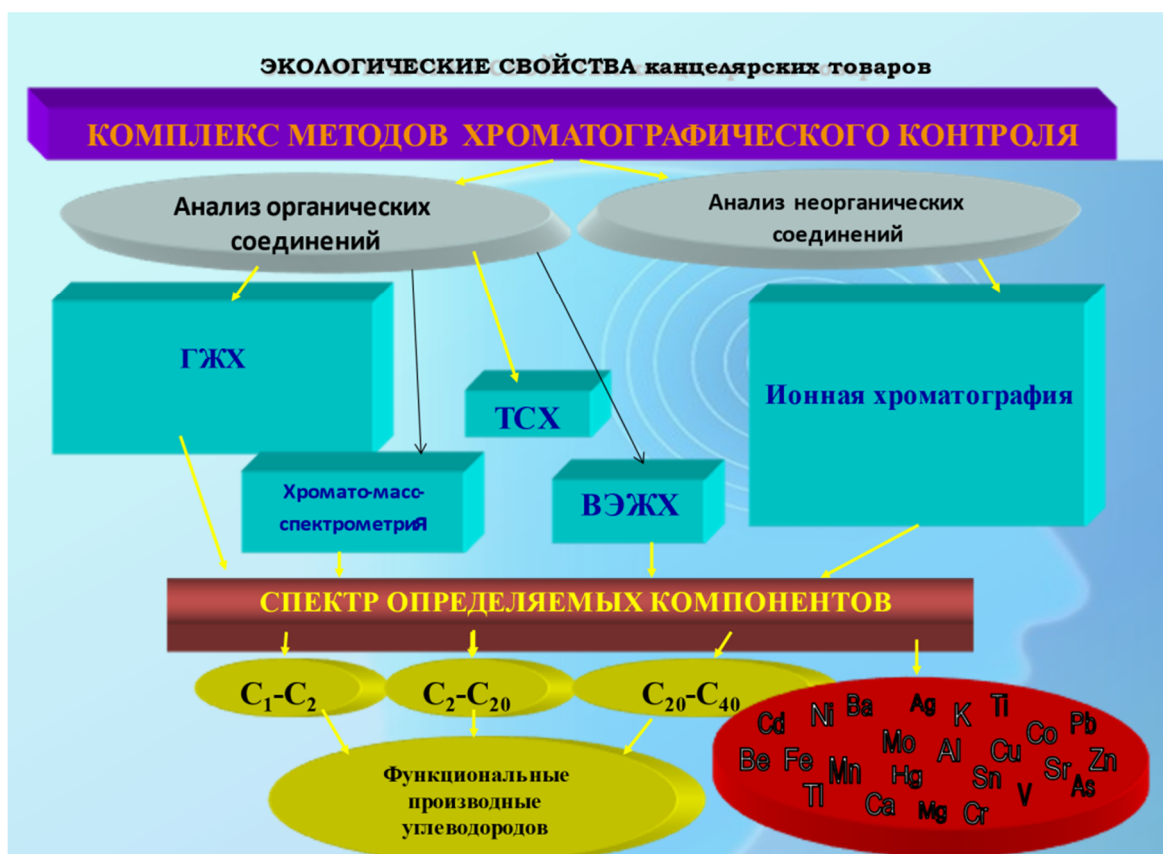


Рис. 2. Возможности разных хроматографических методов в контроле химической безопасности канцелярских товаров

Для анализа смесей катионов и анионов, как неорганических, так и органических, нашла успешное применение ионная хроматография (ИХ) и капиллярный электрофорез [22,23].

Малолетучие органические соединения (фенолы, ПАУ, фталаты и пр.) анализируют с применением различных вариантов высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ), в том числе микотоксины [24], выделяющиеся плесенью, размножающейся на пластиках, древесине и бумаге. В качестве детектирующих устройств для определения соединений с хромофорными группами используют спектрофотометрические детекторы (СФД), контролирующие оптическое поглощение в УФ- и видимой области (190-900 нм) и даже ближней ИК-области (≥ 1000 нм). Распространены также электрохимические детекторы (ЭХД), амперометрические и кондуктометрические, для определения ионогенных аналитов, характерные ВИХ [25]. В последние 10 лет стали коммерчески доступными жидкостные хроматографы, сопряженные с хромато-масс-спектрометрами (ВЭЖХ-МС).

Классическая пиролитическая ГЖХ внесла существенный вклад в анализ синтетических полимеров, биополимеров, в их идентификацию и контроль качества. На входе хроматографа устанавливали пиролитическую приставку, в которой твердый или жидкий образец нагревался до температуры разложения, на колонке происходило разделение продуктов термораспада и по полученному хроматографическому профилю, выполнялась идентификация продукции. Современное развитие пиролитической аппаратуры и совмещение ее с газовой хромато-масс-спектрометрией (Py-GC-MS) придало мощный импульс в исследовании полимерных материалов и композитов на качественно новом уровне [26], в том числе, в контроле качества и безопасности КТ. На рис. 3 приведено фото пиролитического ГЖХ-МС фирмы Agilent (США), оснащенного пиролитической приставкой фирмы Frontier Laboratories (Япония).

Современные ГЖХ-МС стали достаточно малогабаритными, занимают площадь одного лабораторного стола (см. рис.3), при комплектации с пиролизером они могут работать в 6 режимах [26]:

1. Анализ в режиме программирования температуры пиролиза (EGA-MS);
2. Одностадийный пиролиз (PY-GC/MS);
3. Термодесорбция (TD-GC/MS);

4. Двухстадийный анализ (TD и PY-GC/MS);
5. Многоступенчатый анализ с ГЖХ-разделением каждой термической зоны (Heart-Cut-GC/MS);
6. Реакционный пиролиз (RxPy-GCMS).

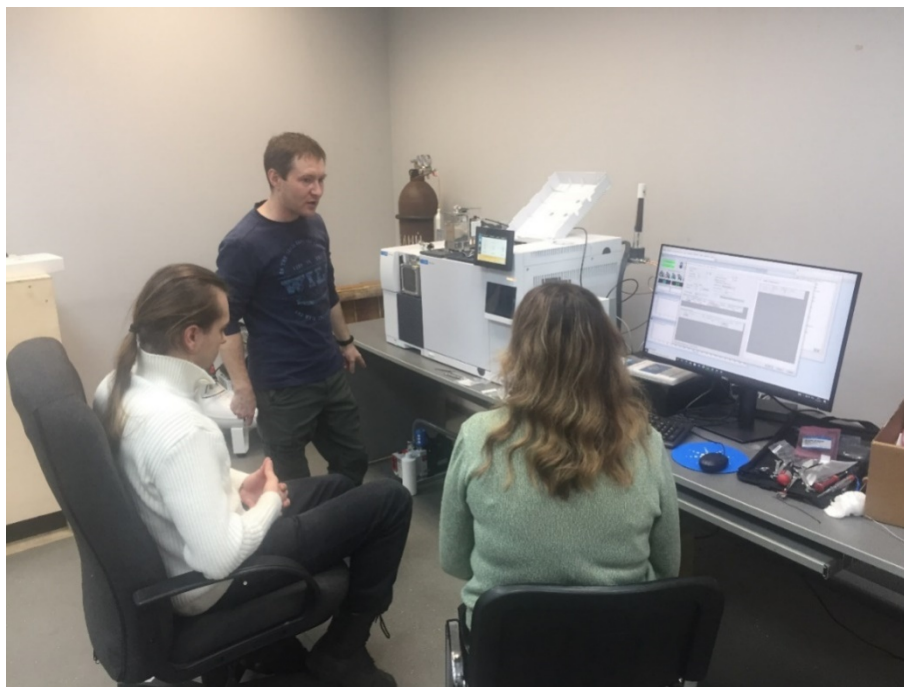


Рис. 3. Обучение операторов работе на хроматографе ГЖХ-МС Agilent с пиролитической приставкой Frontier Laboratories в ЦКП ВГТУ

Этот прибор подходит не только для контроля качества и безопасности строительных и технических материалов, но и для анализа мигрирующих компонентов КТ. С его помощью можно расшифровать химическую структуру полимера и установить технологию производства (обратный инжиниринг): выявить функциональные концевые группы, молекулярную массу полимера, состав мономеров и последовательность их расположения в цепи, характеристики смеси или сополимера. Пиролитическая ГЖХ-МС позволяет выполнить качественный и количественный анализ добавок (антиоксиданты, стабилизаторы, пластификаторы, антистатик, антипомутнители, огнеупоры, порообразователи и др.), определить токсичность материалов (летучие органические соединения,

фталаты), определить механизм и кинетику деградации объекта (устойчивость к температуре, к воздействию УФ-излучения) [26].

Так, в режиме EGA-MS осуществляют быстрый анализ фталатов в ПВХ. Количественный анализ после термодесорбции фталатов реализуется в режиме TD-GC/MS. В этом же режиме можно одновременно определять добавки различного строения в полимерах: стабилизаторы, органические пигменты, пластификаторы и др., контролировать качество эпоксидного клея, определять в нем наличие остаточного количества бисфенола А и его биглицидиловых эфиров, эфиров бисфенола С [26].

Как следует из анализа публикаций в СМИ, в связи с санкциями, наложенными недавно на РФ некоторыми странами, возникла необходимость тщательнее контролировать качество бумаги и изделий из нее. Так, Российская целлюлозно-бумажная промышленность самодостаточна по сырью, но последние годы зависела от импортных химикатов, в первую очередь для отбеливания бумаги (<https://zen.yandex.ru/media/onlinepatent/himicheskie-otbelivateli-dlia-bumagi-problemy-i-resheniia-628cb95ba9b9c7529e4f9a0d>).

С химической точки зрения известны 3 базовых способа отбеливания целлюлозы как основы белой бумаги: 1) с использованием хлорсодержащих отбеливающих реагентов, дающих молекулярных хлор (Cl_2); 2) без использования молекулярного хлора (Elemental chlorinefree) с применением диоксида хлора, гипохлоритов и хлоритов; 3) без использования хлора и хлорпроизводных соединений (Totalchlorinefree) с применением пероксида водорода и озона.

По данным агентства Mega Research из 73 российских предприятий бумажной отрасли с нехваткой реагентов столкнулись 54. Отбеливание пероксидом водорода или озона – наиболее дорогой способ. Предполагается временно перейти на молекулярный хлор. Однако это вредное производство, которое сопровождается образованием хлорорганики, в том числе диоксинов, наиболее вредных экотоксикантов, что требует усиления контроля качества и безопасности писчей отбеленной бумаги. Хлориты и хлораты натрия можно контролиро-

вать методом ИХ, а вот хлорорганику – предпочтительнее методами ГЖХ-МС или ВЭЖХ, продукт порошкообразный, легко транспортабелен.

Таким образом, комплекс хроматографических методов, включающий тонкослойную, газовую, высокоэффективную жидкостную и ионную хроматографию (ТСХ, ГЖХ, ВЭЖХ и ИХ) позволяет контролировать качество и безопасность всех групп канцелярских товаров, без учета их механических свойств.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации. Проект No 2021-2296-512-0001-060.

Список литературы

1. Ассортимент и групповая характеристика потребительских свойств канцелярских товаров (<https://vuzlit.com/245586/assortiment-grupповaya-harakteristika-potrebitelskih-svoystv-kantselyarskih-tovarov>).

2. Балаева С.И. Товароведение и экспертиза непродовольственных товаров: Учебное пособие / С. И. Балаева, И. Дзахмишева, М. В. Блиева. – 3-е изд. М.: Дашков и К°, 2012. 552 с.

3. Рудаков О.Б. Формальдегид. Большая российская энциклопедия. М.: БРЭ, 2017. Т. 33. 484 с.

4. Хорохордина Е.А., Грошев Е.Н., Рудаков О.Б., Быстрицкий А.Г. Цветометрический контроль свободного формальдегида в карбамидоформальдегидной смоле // Научный вестник ВГАСУ. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения, №12, 2016. С. 62-67.

5. Рудаков О.Б., Алексюк М.П., Коновалов В.В. Микроколоночная высокоэффективная жидкостная хроматография орто-замещенных производных фенола // Журнал аналитической химии, 2001. Т 56, №4. С. 351-358.

6. Рудаков О.Б., Селеменев В.Ф., Коновалов В.В., Спитченко О.Н. Обращенно-фазовая микроколоночная высокоэффективная хроматография фенолов // Журнал физической химии, 2002. Т 76, № 5. С. 931-935.

7. Подолина Е.А., Рудаков О.Б., Хорохордина Е.А., Харитоновна Л.А. Применение ацетонитрила для извлечения двухатомных фенолов из водно-солевых растворов и анализа методом ВЭЖХ // Журнал аналитической химии, 2008, №5. С. 514-518.

8. Фан ВиньТхинь, Хорохордина Е.А., Подолина Е.А., Рудаков О.Б. Контроль фенолов в строительных полимерах // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2008. №1. С. 47-54.

9. Рудаков О.Б., Рудакова Л.В., Кудухова И.Г., Головинский П.А., Хорохордина Е.А., Грошев Е.Н. Усовершенствование способа определения фенолов по цветным реакциям с применением цифровых технологий // Аналитика и контроль, 2012. Т. 16, №4. С. 570-579.

10. Рудаков О.Б., Хорохордина Е.А., Чан Хай Данг Тонкослойная хроматография и цветометрия в контроле фенольного индекса отделочных строительных материалов // Строительные материалы, 2014. №6. С. 66-70.

11. Рудаков О.Б. Фенолы. Большая российская энциклопедия. М.: БРЭ, 2017. Т. 33. 255 с.

12. Рудаков О.Б. Стирол. Большая российская энциклопедия. М.: БРЭ, 2016. Т. 31. С. 253-254.

13. Калач А.В., Чуйков А.М., Рудаков О.Б. Система распознавания экотоксикантов в закрытых помещениях // Научный Вестник ВГАСУ. Архитектура и строительство, 2012. №3. С. 119-126.

14. Жейвот В.И., Никоро Т.А., Криворучко В.Н. [и др.] Изучение возможности определения методом газовой хроматографии продуктов реакции каталитического окисления аммиака в оксид азота (II) // Журнал аналитической химии. 2007. Т. 62. № 12. С. 1297-1303.

15. Комарова Т.В. Ионохроматографическое определение некоторых элементов III-V групп периодической системы в виде комплексов с ЭДТА: автореферат дисс. ... канд. хим. наук. Москва, 1992. 25 с.

16. Зубкова Т.П., Недавний О.И., Зибарев П.В. Экологическая безопасность полимерных строительных материалов. Анализ смесей токсичных веществ, выделяющихся в чрезвычайных ситуациях // Экология промышленного производства, 2007. № 3. С. 6-12.

17. Майорова Л.П., Соболевская Л.А. Совершенствование методик измерений массовых концентраций этилбензола в питьевых, природных и сточных водах методом газовой хроматографии, с использованием анализа равновесного пара // Вестник Тихоокеанского государственного университета, 2015. № 2(37). С. 29-34.

18. Левин М.Н., Ланцузская-Крисилова Е.В. Идентификация летучих органических соединений по временам удерживания и спектрам ионной подвижности // Журнал аналитической химии, 2014. Т. 69, № 12. С. 1266-1272. DOI 10.7868/S0044450214120081.

19. Кузовкова А.А., Крымская Т.П., Ивашкевич Л.С. Оригинальные методические подходы к измерению концентрации ацетальдегида в воздухе на основе парофазного газохроматографического анализа // Здоровье и окружающая среда, 2019. № 29. С. 162-167.

20. Субботина Д.Ю., Нурисламова Т.В. Аналитический обзор зарубежных методов определения ацетофенона в пищевой упаковке // Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения: Мат. всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием, Пермь, 05-09 октября 2020 года. Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2020. С. 170-174.

21. Рудаков О.Б., Рудакова Л.В. Информационные технологии в аналитическом контроле биологически активных веществ. С.-П.: Лань. 2022. 364 с.

22. Селеменев В.Ф., Шапошник В.А., Рудаков О.Б. История развития ионного обмена и хроматографии в Воронеже (Воронежском университете) // Сорбционные и хроматографические процессы, 2015. Т. 15. № 2. С. 138-150.

23. Карцова Л.А., Макеева Д.В., Бессонова Е.А. Современное состояние метода капиллярного электрофореза // Журнал аналитической химии, 2020. Т. 75. № 12. С. 1059-1079. DOI 10.31857/S0044450220120087.

24. Седова И.Б., Тутельян В.А. Разработка условий совместного детектирования ряда микотоксинов методом ВЭЖХ с тандемной масс-спектрометрией (ВЭЖХ-МС/МС) // Вопросы питания, 2014. Т. 83. № 3. С. 237-238.

25. Рудаков О.Б., Востров И., Филиппов А.А., Федоров С.В., Селеменев В.Ф., Приданцев А.А. Спутник хроматографиста. Методы жидкостной хроматографии. Воронеж: Водолей, 2004. 528 с.

26. Хорохордин А.М., Рудаков Я.О., Хорохордина Е.А. Применение пиролитической хромато-масс-спектрометрии в контроле качества строительных полимеров и композитов // Строительные материалы, 2022. №8. С.65-69.

References

1. Assortiment i gruppovaya harakteristika potrebitel'skih svojstv kancelyarskih tovarov (<https://vuzlit.com/245586/assortiment-gruppovaya-harakteristika-potrebitelskih-svoystv-kantselyarskih-tovarov>).

2. Balaeva S.I. Tovarovedenie i ekspertiza neprodovol'stvennyh tovarov: Uchebnoe posobie / S.I. Balaeva, I. Dzahmisheva, M.V. Blieva. – 3-e izd. M.: Dashkov i K°, 2012. 552 p.

3. Rudakov O.B. Formal'degid. Bol'shaya rossijskaya enciklopediya. M.: BRE, 2017. T.33. 484 p.

4. Horohordina E.A., Groshev E.N., Rudakov O.B., Bystrickij A.G. Cvetometriceskij kontrol' svobodnogo formal'degida v karbamidoformal'degidnoj smole // Nauchnyj vestnik VGASU. Seriya: Fiziko-himicheskie problemy I vysokie tekhnologii stroitel'nogo materialovedeniya, №12, 2016. P. 62-67.

5. Rudakov O.B., Aleksyuk M.P., Konovalov V.V. Mikrokolonochnaya vysokoeffektivnaya zhidkostnaya hromatografiya orto-zameshchennyh proizvodnyh fenola // Zhurnal analiticheskoy himii, 2001. T 56, №4. P. 351-358.

6. Rudakov O.B., Selemenev V.F., Konovalov V.V., Spitchenko O.N. Obrashchenno-fazovaya mikrokolonochnaya vysokoeffektivnaya hromatografiya fenolov // Zhurnal fizicheskoy himii, 2002. T 76, №5. P. 931-935.

7. Podolina E.A., Rudakov O.B., Horohordina E.A., Haritonova L.A. Prime-nenie acetonitrila dlya izvlecheniya dvuhatomnyh fenolov iz vodno-solevyh rastvo-rov i analiza metodom VEZHKH // Zhurnal analiticheskoy himii, 2008. №5, С. 514-518.

8. Fan Vin' Thin', Horohordina E.A., Podolina E.A., Rudakov O.B. Kontrol' fenolov v stroitel'nyh polimerah // Vestnik VGU. Seriya: Himiya. Biologi-ya.Farmaciya, 2008.№1. P. 47-54.

9. Rudakov O.B., Rudakova L.V., Kuduhova I.G., Golovinskij P.A., Horohor-dina E.A., Groshev E.N. Uovershenstvovanie sposoba opredeleniya fenolov po cvetnym reakciyam s primeneniem cifrovyyh tekhnologij // Analitikai kontrol', 2012. T.16, №4.P. 570-579.

10. Rudakov O.B., Horohordina E.A., CHan Haj Dang Tonkoslojnaya hroma-tografiya i cvetometriya v kontrole fenol'nogo indeksa otdelochnyh stroitel'nyh mate-rialov // Stroitel'nye materialy, 2014. №6. P. 66-70.

11. Rudakov O.B. Fenoly. Bol'shaya rossijskaya enciklopediya. M.: BRE, 2017. T. 33. P. 255.

12. Rudakov O.B. Stirol. Bol'shaya rossijskaya enciklopediya. M.: BRE, 2016. T.31. P. 253-254.

13. Kalach A.V., Chujkov A.M., Rudakov O.B. Sistema raspoznavaniya ekotoksikantov v zakrytyh pomeshcheniyah // Nauchnyj Vestnik VGASU. Arhitektu-ra i stroitel'stvo, 2012.№3. P. 119-126.

14. Izuchenie vozmozhnost opredeleniya metodom gazovoj hromatografii produktov reakcii kataliticheskogo okisleniya ammiaka v oksid azota (II) / V.I.

Zhejvot, T.A. Nikoro, V.N. Krivoruchko [i dr.] // Zhurnal analiticheskoy himii, 2007. T. 62. № 12. P. 1297-1303.

15. Komarova T.V. Ionohromatograficheskoe opredelenie nekotoryh elementov III-V grupp periodicheskoy sistemy v vide kompleksov s EDTA: avtoreferat diss. ... kand. him. nauk. Moskva, 1992.25 p.

16. Zubkova T.P., Nedavnij O.I., Zibarev P.V. Ekologicheskaya bezopasnost' polimernyh stroitel'nyh materialov. Analiz smesey toksichnyh veshchestv, vydelyayushchihsya v chrezvychajnyh situatsiyah // Ekologiya promyshlennogo proizvodstva, 2007. № 3. P. 6-12.

17. Majorova L.P. Sobolevskaya L.A. Sovershenstvovanie metodik izmerenij massovykh koncentracij etilbenzola v pit'evykh, prirodnykh i stochnykh vodah metodom gazovoy hromatografii, s ispol'zovaniem analiza ravnovesnogo para // Vestnik Tihookeanskogo gosudarstvennogo universiteta, 2015. № 2(37). P. 29-34.

18. Levin M.N., Lancuzskaya-Krisilova E.V. Identifikaciya letuchih organicheskikh soedinenij po vremenam uderzhivaniya i spektram ionnoj podvizhnosti // Zhurnal analiticheskoy himii, 2014. T. 69. № 12. P. 1266-1272. DOI 10.7868/S0044450214120081.

19. Kuzovkova A.A. Krymskaya T.P., Ivashkevich L.S. Original'nye metodicheskie podhody k izmereniyu koncentracii acetal'degida v vozduhe na osnove parofaznogo gazohromatograficheskogo oanaliza // Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda, 2019. № 29. P. 162-167.

20. Subbotina D.Yu., Nurislamova T.V. Analiticheskij obzor zarubezhnykh metodov opredeleniya acetofenona v pishchevoj upakovke // Fundamental'nye i prikladnye aspekty analiza riska zdorov'yu naseleniya: Mat. Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy internet-konferencii molodyh uchenykh i specialistov Rospotrebnadzora s mezhdunarodnym uchastiem, Perm', 05-09 oktyabrya 2020 goda. Perm': Permskij nacional'nyj issledovatel'skij politekhnicheskij universitet, 2020. P. 170-174.

21. Rudakov O.B., Rudakova L.V. Informacionnye tekhnologii v analiticheskom kontrole biologicheskikh aktivnykh veshchestv. S.-P.: Lan', 2022. 364 p.

22. Selemenev V.F., SHaposhnik V.A., Rudakov O.B. Istoriya razvitiyaionnogo obmena i hromatografii v Voronezhe (Voronezhskom universitete) // Sorbcionnye i hromatograficheskie processy, 2015. T. 15, № 2. P. 138-150.
23. Karcova L.A., Makeeva D.V., Bessonova E.A. Sovremennoe sostoyanie metoda kapillyarnogo elektroforeza // Zhurnal analiticheskoy himii, 2020. T. 75, № 12. P. 1059-1079. DOI 10.31857/S0044450220120087.
24. Sedova I.B., Tutel'yan V.A. Razrabotka uslovij sovmestnogo detektirovaniya ryada mikotoksinov metodom VEZHKN s tandemnoj mass-spektrometriej (VEZHKN-MS/MS) // Voprosy pitaniya, 2014. T. 83, № 3. P. 237-238.
25. Rudakov O.B., Vostrov I., Filippov A.A., Fedorov S.V., Selemenev V.F., Pridancev A.A. Sputnik hromatografista. Metody zhidkostnoj hromatografii. Voronezh: Vodolej, 2004. 528 p.
26. Horohordin A.M., Rudakov YA.O., Horohordina E.A. Primenenie piroliticheskoy hromato-mass-spektrometrii v kontrole kachestva stroitel'nyh polimerov i kompozitov // Stroitel'nye materialy, 2022. №8. P. 65-69.

Рудаков Ярослав Олегович – инженер кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета, аспирант кафедры аналитической химии Воронежского государственного университета

Аббуд Мохамед – аспирант кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

Рудаков Олег Борисович – д-р хим. наук, профессор, заведующий кафедрой химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

Хорохордин Алексей Митрофанович – соискатель кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

ФИЗИКА

УДК 543:625.717

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСТРАКЦИИ И ЭЛЕКТРОФОРЕТИЧЕСКОГО
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕОБРОМИНА В ИВАН-ЧАЕ**

Н.Я. Мокшина¹, О.А. Пахомова², А.В. Полтева², М.С. Букша³

¹*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
Российская Федерация, 394064, г. Воронеж, ул. Ст. Большевиков, 54а*

²*Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина,
Российская Федерация, 399770, г. Елец, ул. Коммунаров, 28*

³*Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко,
Российская Федерация, 394000, г. Воронеж, ул. Студенческая, 10*

**Адрес для переписки: Мокшина Надежда Яковлевна, E-mail: moksnad@mail.ru*

В работе представлены результаты извлечения теобромина из растительного сырья с применением блоксополимера марки «Плуроник». Обоснован выбор экстрагента, подробно описана методика ферментации и извлечения теобромина, приведен расчет количественных характеристик экстракции. Установлены закономерности межфазного распределения теобромина в системах иван-чай – раствор «Плуроника», зависимость степени извлечения алкалоида от концентрации блоксополимера и температуры. Для количественного определения содержания теобромина в иван-чае предложен метод капиллярного электрофореза. Осуществлен выбор условий и режимов электрофоретического определения аналита, приведена электрофореграмма иван-чая после ферментации.

Ключевые слова: теобромин, иван-чай, экстракция, полимер, электрофоретическое определение

**STUDY OF EXTRACTION AND ELECTROPHORETIC DETERMINATION
OF THEOBROMINE IN WILLOW-HERB**

N.Ya. Mokshina¹, O.A. Pakhomova², A.V. Polteva², M.S. Buksha³

*¹«Military Educational and Scientific Centre of the Air Force
N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh),
Russian Federation, 394064, Voronezh, ul. St. Bol'shevnikov, 54a*

*²Bunin Yelets State University,
Russian Federation, 399770, Yelets, ul. Kommunarov, 28*

*³Voronezh State Medical University,
Russian Federation, 394000, Voronezh, ul. Studencheskaya str. 10*

**Corresponding author: NadezhdaYa. Mokshina, E-mail: moksnad@mail.ru*

The paper presents the results of the extraction of theobromine from plant materials using the Pluronic block copolymer. The choice of the extractant is substantiated, the method of fermentation and extraction of theobromine is described in detail, and the calculation of the quantitative characteristics of the extraction is given. The regularities of the interfacial distribution of theobromine in the systems willow-tea – Pluronic solution, the dependence of the degree of extraction of the alkaloid on the concentration of the block copolymer and temperature have been established. For the quantitative determination of theobromine content in Ivan-tea, the method of capillary electrophoresis is proposed. The choice of conditions and modes of electrophoretic determination of the analyte was carried out, the electrophoregram of Ivan-tea after fermentation is given.

Keywords: *theobromine, willow-herb, extraction, polymer, electrophoretic determination*

Введение. Некоторые лекарственные травы содержат теобромин в количестве, сопоставимом с зелёным чаем. В кипрее узколистом (иван-чай) в период цветения содержание теобромина составляет 20-50 мг на 100 г сырья [1]. Извлечение теобромина из водных сред и пищевых продуктов с целью установления его концентрации – одна из актуальных задач, решение которой связано с

применением жидкостной экстракции. Одним из методов определения группы пуриновых алкалоидов является капиллярный электрофорез, который характеризуется достаточно высокой чувствительностью и избирательностью [2,3]. Обычно определению органических соединений предшествует подготовка проб, включающая выделение искоемых соединений из анализируемой матрицы, отделение их от мешающих компонентов и концентрирование [4,5].

В классических процессах выделения и разделения веществ используются большие количества органических растворителей, которые обладают хорошо известными преимуществами, однако являются канцерогенными, пожароопасными и токсичными. Двухфазные водные системы на основе водорастворимых полимеров являются неплохой альтернативой классическим экстракционным системам, что связано с их экологической безопасностью, доступностью и легкостью в применении. Особый интерес в качестве экстрагентов представляют неионогенные блоксополимеры этиленоксида (ЭО) и пропиленоксида (ПО), в частности, состава $(\text{ЭО})_x-(\text{ПО})_y-(\text{ЭО})_x$, производимые под торговой маркой плуроники [6,7]. Известно, что плуроники являются инновационными продуктами, которые широко используются в мировой практике при производстве лекарственных средств в качестве вспомогательных веществ, для увеличения растворимости и всасываемости соединений различной гидрофобности [8,9]. Наличие относительно гидрофобного полипропиленоксидного блока и сочлененных с ним относительно гидрофильных полиэтиленоксидных блоков обуславливает амфифильные свойства плуроников.

Целью данной работы является разработка экстракционно-электрофоретического способа извлечения и определения теобромина в иван-чае с применением блоксополимера «Плуроник» в качестве экстрагента.

Экспериментальная часть

По результатам экстракции теобромина рассчитывали количественные характеристики процесса – коэффициент распределения (D) и степень извлечения (R , %):

$$D = \frac{C_o}{C_b}, R = \frac{D}{D + r} \cdot 100 \%$$

где C_o и C_b – равновесные концентрации теобромина в органической и водной фазах после экстракции, мг/см³, r –отношение равновесных объемов водной и органической фаз.

Электрофоретическое определение теобромина проводили на приборе «Капель 105М», отличительной особенностью которого является спектрофотометрическое детектирование. Система для капиллярного электрофореза состоит из высоковольтного источника напряжения; двух флаконов с буферными растворами и погруженными в них электродами; капилляра, заполненного соответствующим раствором и погруженного обоими концами во флаконы с буферными растворами; системы ввода образца; детектора, способного в режиме реального времени регистрировать вещества, проходящие мимо оптического окна капилляра; системы термостатирования.

В качестве источника света используется дейтериевая лампа, а в качестве диспергирующего элемента - дифракционный монохроматор со спектральным диапазоном 190-380 нм. Такой диапазон позволяет выбрать длину волны детектирования, наиболее чувствительную к целевым компонентам. Для электрофоретического определения теобромина после экстракции строили градуировочный график (рис. 1).

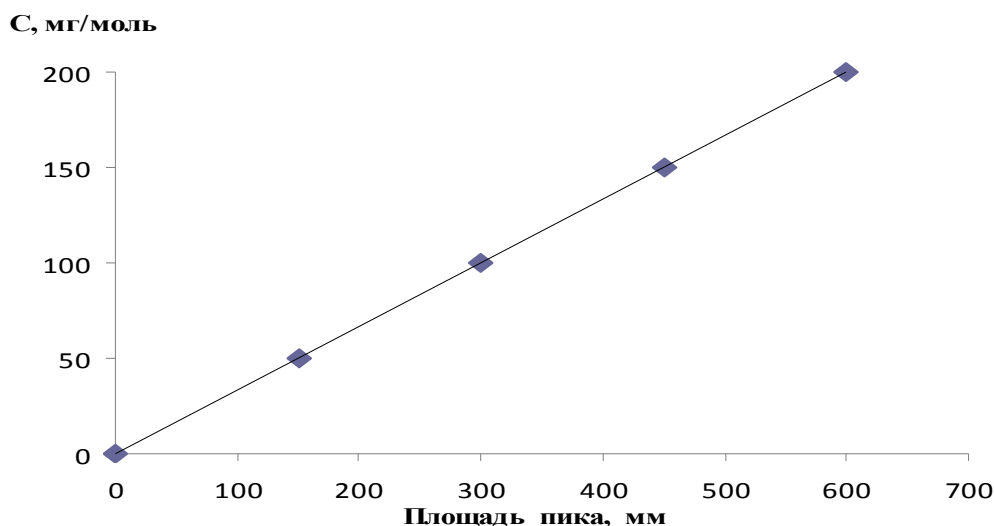


Рис. 1. Градуировочный график для электрофоретического определения теобромина

Результаты и их обсуждение

Ферментирование листьев иван-чая проводили при температуре 25-27°C и влажности среды 90-95%. Содержание теобромина в чайном напитке на основе ферментированных листьев иван-чая определяли на каждой ступени обработки: легкая ферментация (5-6 ч), средняя (10-16 ч), глубокая – до 36 ч (табл.1). На рис. 1 приведена электрофореграмма иван-чая после ферментации. На электрофореграмме проверяется правильность разметки пиков, при необходимости корректируют полученную разметку. При обнаружении определяемого компонента вычисляют его массовую концентрацию.

Таблица 1

Основные характеристики процесса ферментации иван-чая

Время ферментации, ч	pH субстрата	Содержание теобромина, г/100 г
6	6,2	0,054±0,003
10	5,8	0,062±0,003
15	5,4	0,068±0,005
25	4,5	0,095±0,004
30	4,1	0,153±0,006

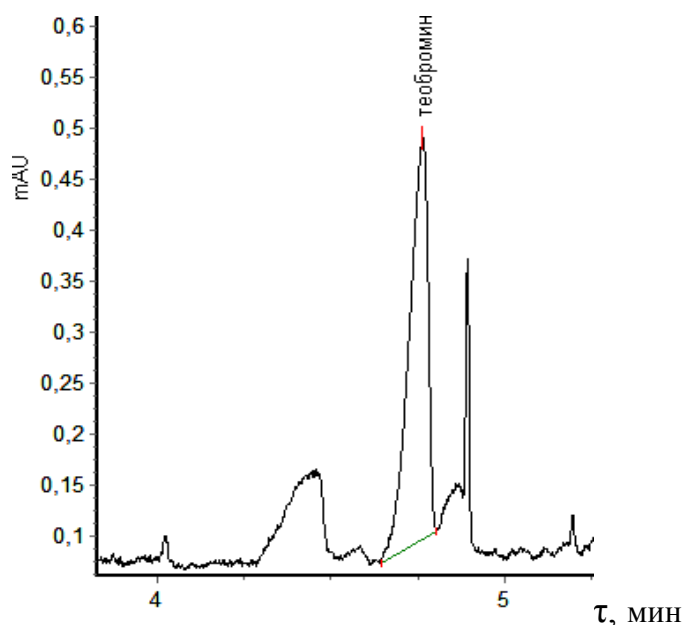


Рис. 1. Электрофореграмма теобромина в иван-чае после ферментации

На этапе экстракции теобромина из иван-чая установили эффективную концентрацию блоксополимера «Плуроник», его температуру, массу расти-

тельного сырья и длительность перемешивания (табл. 2). В ходе эксперимента установлено, что оптимальная фракция измельчения иван-чая составляет 0,6 мм. При выбранной концентрации «Плуроника» (0,25 г/см³) и соотношении водной и органической фаз 10:1 проведена экстракция теобромина из иван-чая.

Таблица 2

Зависимость извлечения теобромина от концентрации экстрагента и температуры

С _{экстрагента} , г/см ³	Содержание теобромина, мг/100 г сырья	Т, °С	Содержание теобромина, мг/100 г сырья
0,15	21	60	12
0,20	33	70	25
0,25	56	80	46
		95	56

Электрофоретическое определение теобромина в органических экстрактах на основе плуроника проводили по известной методике [7]. В фарфоровую чашку помещали 2 см³ экстракта и выпаривали на водяной бане. Затем добавляли 25 см³ вспомогательного раствора (0,05 М раствор тетрабората натрия смешивали с 0,1 М раствором сульфита натрия в объемном соотношении 3:2). Полученный раствор тщательно перемешивали и количественно переносили в пробирку типа «Эппендорф». Готовили ведущий электролит № 2: навеску додецилсульфата натрия (масса 0,576 г) помещали в мерную колбу вместимостью 25 см³, добавляли 15-17 см³ ведущего электролита № 1 (40 см³ 0,05 М раствор тетрабората натрия и 20 см³ 0,2 М борной кислоты) и перемешивали. Доводили объем в колбе до метки этим же раствором и снова перемешивали. Между анализами капилляр промывают буферным раствором, который содержит в себе 20 ммоль/дм³ тетрабората натрия и 40 ммоль/дм³ додецилсульфата натрия.

Анализ проводили с применением источника высокого напряжения положительной полярности со встроенным фотометрическим детектором (U = +25 кВ, t = 40°C, λ = 240 нм) в режиме мицеллярной электрокинетической хроматографии. Система капиллярного электрофореза снабжена кварцевым капилляром (полная длина – 75 см, эффективная длина – 65 см, внутренний диаметр –

50 мкм). Для записи и обработки полученных данных применяли программное обеспечение «Мульти Хром». Режим МЭКХ основан на миграции нейтральных и ионных форм анализируемых компонентов под действием электрического поля вследствие их различной электрокинетической подвижности и распределении между фазой ведущего электролита № 2 и мицеллярной псевдофазой.

Заключение. Разработана экстракционно-электрофоретическая методика определения теобромина в иван-чае, исключая применение вреднодействующих органических растворителей и значительно сокращающая время анализа. Изучено влияние отдельных физических параметров на межфазное распределение теобромина в системах на основе водорастворимого полимера. Содержание алкалоида в экстрактах анализировали методом капиллярного электрофореза, для чего получены электрофореграммы чая, по которым рассчитывали количество теобромина, перешедшего в раствор после экстракции.

Список литературы

1. Яшин Я.И., Яшин А.Я. Чай. Химический состав чая и его влияние на здоровье человека: монография. М.: Транслит, 2010. 160 с.
2. Карцова Л.А., Ганжа О.В., Алексеева А.В. Возможности и ограничения различных режимов капиллярного электрофореза для количественного определения катехинов и кофеина в черном и зеленом чае // Журнал аналитической химии. 2010. Т.65. № 2. С. 212–217.
3. Хасанов В.В., Слижов Ю.Г. Анализ энергетических напитков методом капиллярного электрофореза // Журнал аналитической химии. 2013. Т. 68. № 4. С. 385– 389.
4. Дмитриенко С.Г., Апяри В.В., Горбунова М.В., Толмачева В.В., Золотов Ю.А. Гомогенная жидкостная микроэкстракция органических соединений // Журнал аналитической химии. 2020. Т. 75. № 11. С. 963–979.
5. Другов Ю.С., Родин А.А. Контроль безопасности и качества продуктов питания и товаров детского ассортимента: монография. М.: Бином, 2012. 440 с.

6. Шаталов Г.В., Пахомова О.А., Мокшина Н.Я., Минаков Д.А., Феклин В.Н. Межфазное распределение аскорбиновой кислоты и рибофлавина в экстракционных системах на основе блоксополимера «Плуроник Р-123» // Конденсированные среды и межфазные границы. 2015. Т.17. № 4. С. 560–565.

7. Марченко Л.А., Мокшина Н.Я., Пахомова О.А., Соколова А.В., Ниживенко В.Н. Оптимизация экстракции кофеина и теобромона из различных сортов чая блок-сополимером плуроник// Известия вузов. Пищевая технология. 2021. № 5-6. С. 32–36.

8. Бондарь О.В., Сагитова А.В., Бадеев Ю.В., Штырлин Ю.Г., Абдуллин Т.И. Мембранотропные свойства конъюгатов блок-сополимеров этилен- и пропиленоксида с янтарной кислотой // Биологические мембраны. 2013. Т. 30. № 2. С. 147–156.

9. Панова И.Г., Спиридонов В.В., Каплан И.Б., Трубинов С.С., Елизава Н.В., Мельниченко А.А., Орехов А.Н., Ярославов А.А. Ингибирующее действие триблок-сополимеров полиэтиленоксида и полипропиленоксида на агрегацию и слияние атерогенных липопротеидов низкой плотности // Биохимия. 2015. Т. 80. Вып. 8. С. 1272–1281.

References

1. Yashin Ya.I., Yashin A. Ya. Chay. Khimicheskiy sostav chaia i ego vliianie na zdorov`e cheloveka [Tea. The chemical composition of tea and its effect on human health]. Moscow, Translit Publ., 2010.160 p. (in Russian).

2. Kartsova L.A., Alekseeva A.V., Ganzha O.V. Possibilities and limitations of different modes of capillary electrophoresis for the quantitative determination of catechols and caffeine in black and green tea // Journal of Analytical Chemistry. 2010. Vol. 65. No 2.P. 209–214.

3. Khasanov V.V., Slizhov Y.G. Energy drink analysis by capillary electrophoresis// Journal of Analytical Chemistry. 2013. Vol. 68. No 4. P. 357–359.

4. Dmitrienko S.G., Apyari V.V., Gorbunova M.V., Tolmacheva V.V., Zolotov Y.A. Homogeneous liquid–liquid microextraction of organic compounds // *Journal of Analytical Chemistry*. 2020. Vol. 75. No 11. P. 1371–1383.

5. Drugov Yu.S., Rodin A.A., Kontrol' bezopasnosti i kachestva produktov pitaniya i tovarov detskogo assortimenta [Safety and quality control of food and children's assortment goods]. M.: Binom, 2012. 440 p. (in Russian).

6. Shatalov G.V., Pakhomova O.A., Mokshina N.Y., Minakov D.A., Feklin V.N. Interphase distribution of ascorbic acid and riboflavin in the extraction systems based on «pluronikp-123» block copolymer // *Condensed Matter and Interphases*. 2015. Vol. 17. No 4. P. 560–565. (in Russian).

7. Marchenko L.A., Mokshina N.Ya., Pakhomova O.A., Sokolova A.V., Nizhivenko V.N. Optimization extraction of coffeine and theobromine from various varieties of tea with pluronic block copolymer // *Izvestiyavuzov. Food Technology*. 2021. No 5-6. P. 32–36.

8. Bondar O.V., Sagitova A.V., Badeev Yu.V., Shtyrlin Yu.G., Abdullin T.I. Membranotropic Properties of Conjugates of Block Copolymers of Ethylene and Propylene Oxides with Succinic Acid // *Biologicheskmembrany*. 2013. No 2. P. 147– 156. (in Russian).

9. Panova I.G., Spiridonov V.V., Yaroslavov A.A., Kaplan I.B., Trubinov S.S., Elizova N.V., Melnichenko A.A., Orekhov A.N. Inhibitory effect of polyethylene oxide and polypropylene oxide triblock copolymers on aggregation and fusion of atherogenic low density lipoproteins// *Biochemistry*. 2015. Vol. 80.No 8. P. 1057–1064.

Мокшина Надежда Яковлевна – д-р хим. наук, профессор кафедры физики и химии Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Пахомова Оксана Анатольевна – канд. хим. наук, доцент кафедры химико-биологических дисциплин и фармакологии Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина

Полтева Анастасия Владимировна – аспирант кафедры химико-биологических дисциплин и фармакологии Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина

Букша Максим Сергеевич – студент 5-го курса лечебного факультета Воронежского государственного медицинского университета им. Н.Н. Бурденко

ТЕХНОЛОГИЯ И ПЕРЕРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

УДК 620.187:6669

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА**

С.А. Ёкубов, С.Н. Золотухин*

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

**Адрес для переписки: Ёкубов Саидикром Акрамович,*

E-mail: tjahmadolya@gmail.com

В данной статье рассматривается проблемы свалок ТБО, выбросов CO₂ в атмосферу Земли, вызванных работой строительной отрасли. Рассматриваются вопросы создания строительных технологий замкнутого цикла за счет замены метода механического сноса зданий и сооружений на поэлементный демонтаж конструкций и повторное использование строительных материалов изделий и конструкции, которые образуются при этом.

Ключевые слова: снос зданий, свалки ТБО, строительный мусор, выбросы углекислого газа, строительные технологии замкнутого цикла, поэлементный демонтаж, механический снос зданий, повторное применение строительных материалов, изделий и конструкций, технологии устойчивого развития

**SOME ASPECTS OF THE DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF
CLOSED-LOOP CONSTRUCTION TECHNOLOGIES**

S.A. Yoqubov, S.N. Zolotukhin*

**Corresponding author: Saidikrom Y.A., E-mail: tjkahmadolya@gmail.com*

This article discusses the problems of landfills, CO₂ emissions into the Earth's atmosphere caused by the work of the construction industry. The issues of creating closed-loop construction technologies by replacing the method of mechanical demolition of buildings and structures with piecemeal dismantling of structures and reuse of building materials of products and structures that are formed during this process are considered.

***Keywords:** demolition of buildings, landfills, construction waste, carbon dioxide emissions, closed-loop construction technologies, elemental dismantling, mechanical demolition of buildings, reuse of building materials, products and structures*

Введение. Острыми проблемами современности является глобальное потепление, вызванное выбросами CO₂ в атмосферу Земли и огромными объёмами мусора, ответственность за которое несёт человек и его деятельность. Объём выбросов углекислого газа в мире в 2021 году составил 34 млрд. тонн, в РФ 640 млн.тонн. Строительная отрасль при этом ответственна за выбросы до 30% CO₂. В нашей стране идетснос различных зданий и сооружений, что до 2024 года приведет к образованию 12 млн. м³ строительного мусора только от сноса ветхого жилья по государственной программе «Аварийное жилье». Реальные объёмы строительного мусора в нашей стране будут значительно больше. Разработка и внедрение строительных технологий замкнутого цикла, при которых повторно используется строительные материалы изделия и конструкции, образующиеся при сносе зданий, позволит уменьшитьвыбросы CO₂ в атмосферу Земли, попадания строительного мусора на свалки ТБО и позволят снизить стоимость строительство малоэтажных зданий, внутри поселковых дорог.

Цель исследования. Изучение опыта разработки и внедрения строительных технологий замкнутого цикла.

Задачи исследования. Изучение проблем появления строительного мусора; технологий сноса здания; примеров повторного применения строительных материалов изделий и конструкций.

В настоящее время основным методом сноса, применяемым в нашей стране является метод обрушения строительных конструкций экскаваторами. В то же время согласно требованиям раздела 12 СП 325.1325800.2017 отходы сноса должны быть максимально обработаны (отсортированы) в процессе производства демонтажа по направлениям их для дальнейшего использования. Различные исследователи доказали, что сроки службы каменных зданий, которые не подвергаются прямому воздействию атмосферных осадков могут служить сотни и даже тысячи лет. На кафедре СКО и Ф ВГТУ имени проф. Борисова Ю.М. вместо разрушающих методов сноса предложено выполнять поэлементный демонтаж зданий и сооружений с повторным использованием строительных материалов, образующихся при этом. Команды проекта, которая занимается разработкой и внедрением строительных технологий замкнутого цикла, на первом этапе перед сносом здания определяет возможность и экономическую целесообразность различных методов сноса зданий. На следующем этапе предлагается проект производства работ и подрядная организация, выигравшая тендер на снос здания начинает разборку здания. При этом инженерно-технические работники, прошедшие предварительное обучение в ВГТУ сортируют получаемые материалы. На следующем этапе сотрудники кафедры СКОиФ выполняют визуальное обследование материалов, изделий и конструкций и определяют прочность бетона неразрушающим методом контроля. В лабораториях ЦКП ВГТУ осуществляется экспертиза материалов изделий и конструкции разрушающим методом контроля. Далее осуществляется проектирование малоэтажных зданий, инженерный надзор за строительством. Особенностью проектирования зданий с повторным применением строительных материалов изделий и конструкций является необходимость учета размеров и внешнего вида этих материалов [1, 2].

При поэлементном демонтаже часто образуется бой каменных материалов, где отсутствуют примеси дерева, органики. Исследования показывают, что такие каменные материалы необходимо повторно использовать при укреплении глинистых грунтов оснований, которые находятся на подтапливаемых территориях. Современная техника (виброкатки) способна выполнить механо-гидрохимическую активацию боя стеновых каменных материалов непосредственно на строительной площадке при одновременном дроблении, перемешивании и уплотнении получаемых конгломератов. В результате чего происходит десятикратный рост прочности и модуля упругости глинистых макропористых грунтов оснований, что позволяет решить проблему утилизации боя каменных материалов, и снизить стоимость работ по укреплению неоднородно глинистых грунтов оснований. Экономический эффект от применения технологии объемного укрепления грунтов с механо-гидрохимической активацией боя каменных стеновых материалов достигает 600-3000 рублей на одном кубометре укрепленного грунта (рис. 1, 2) [3-6].



Рис. 1. Объемная цементация грунтов с повторным использованием боя каменных стеновых материалов, образующихся при сносе зданий

Фундаментные блоки и плиты покрытия, образующиеся при поэлементном демонтаже, без проблем повторно используются при малоэтажном строительстве, поэтому в этой статье на примерах их использования останавливаться не будем.



Рис. 2. Механо-гидрохимическая активация боя стеновых каменных материалов современными виброкатками

Более интересным являются примеры повторного использования железобетонных ребристых плит покрытия промышленных зданий, которое даже при поэлементном демонтаже имеет разрушения при опорных участках, что связано с приваркой закладных деталей и их омоноличиванием при строительстве. Силами сотрудников ВГТУ разработаны и внедрены следующие способы повторного использования ребристых плит покрытия, имеющих дефекты при опорных участках не позволяющие использовать их по прямому назначению это:

1 - возведения стенчатого фундамента с использованием ребристых плит перекрытий (покрытий) (рис. 3);

2 - способы изготовления сплошных плитных фундаментам коробчатого сечения из ребристых плит перекрытия (рис.4);

3 - способы изготовления ленточного фундамента из тонкостенных железобетонных плит с заполнением пазух уплотненным грунтом или грунтобетоном.

Ниже на рис. 3 приведены элементы технологии устройства сплошных плитных фундаментам из ребристых плит перекрытия. Аналогом данной конструкции фундамента является утепленная шведская плита (УШП), однако предлагаемые нами варианты устройства плитных фундаментам в 5-8 раз ниже стоимости устройства УШП из новых материалов. Экологический эффект от

замены одного квадратного метра УШП при толщине плиты 0,3м достигает 15кг CO₂, которые не будут выброшены в атмосферу Земли. Аналогичные конструкции фундаментов может с успехом заменить устройства под бетонки при строительстве многоэтажных зданий. Это может быть очень актуальным при восстановлении разрушенных зданий в местах ведения боевых действий, землетрясений и т.п.



Рис. 3. Способ изготовления сплошных плитных фундаментов из ребристых плит перекрытия

Устройство стенчатых и плитно-ребристых конструкций фундаментов необходимо в местах где, исходя из гидрогеологических условий места строительства, есть возможность устройства тонкостенных конструкций фундаментов, что позволяет снизить в 5-6 раз материалоемкость данных конструкций фундаментов (рис.4).



Рис. 4. Возведение стенчатого фундамента с использованием ребристых плит покрытий и керамзитобетонных панелей

При поэлементном демонтаже зданий возможны появления целого кирпича керамзитобетонных панелей, лестничных маршей, площадок, черепицы, природного камня, деревянных изделий. Все эти материалы необходимо использовать повторно.

Различные строительные материалы при участии дизайнеров, архитекторов используются повторно в оформлении экстерьеров и интерьеров зданий (рис. 5) [7].



Рис. 5. Интерьер с повторным применением строительных материалов изделий и конструкций [7]

Вторичное использование железобетонных конструкций, каменного боя, металлоконструкций материалов позволяет создавать интересное решение в ландшафтном дизайне.

Какой же эффект от внедрения строительных технологий замкнутого цикла мы получим. Рассмотрим пример проектирования и строительства двух малоэтажных зданий площадью 222 м², расположенных по адресу Воронежская область, Семилукский район, ул. Заречная. В результате проектирования и строительства двух домов с использованием технологий устойчивого развития был предотвращен объём выбросов углекислого газа в 30 тонн. На свалку не попало 132 м³ вторичных строительных материалов [8-10].

Применение технологий устойчивого развития, разрабатываемых и внедряемых силами сотрудников ВГТУ позволяет значительно снизить выбросы CO₂, уменьшить объёмы свалок ТБО. Вместе с этим происходит минимизация затрат на перевозки вторичных материалов, снижение затрат на приобретения строительных материалов, уменьшение стоимости строительства малоэтажных зданий в 2-3 раза без потери качества производимых строительных работ [8-10].

Заключение. В настоящее время технологии, применяемые в строительстве для сноса зданий и сооружений не являются рациональными. При сносе зданий и сооружений методом обрушения образуется огромное количество строительного мусора, который вывозится на свалки ТБО.

В ВГТУ разработаны технологии повторного использования строительных материалов, изделий и конструкций, которые образуются при поэлементном демонтаже зданий. Строительные технологии замкнутого цикла позволяют решить сразу несколько задач: уменьшить количество выбросов CO₂, снизить стоимость строительства, уменьшить объёмы свалок ТБО.

В настоящее время применение строительных технологий устойчивого развития является целесообразным, экономически, и экологически. В скором времени большое количество строительных компаний перейдут на данный вид строительства.

Список литературы

1. СП 325.1325800.2017 Здания и сооружения. Правила производства работ при демонтаже и утилизации.
2. Мариев О.С. Влияние урбанизации на выбросы углекислого газа в регионах России / О.С. Мариев, Н.Б. Давидсон, О.С. Емельянова // JournalofAppliedEconomicResearch, 2020. Т. 19. № 3. С. 286-309. – DOI 10.15826 / vestnik, 2020. 19.3.014. EDNNYSEEM.
3. Патент № 2734504 С1 Российская Федерация, МПК E02D 27/00. Способ изготовления ленточного фундамента из тонкостенных железобетонных

плит с заполнением пазух уплотненным грунтом или грунтобетоном: № 2019133432: заявл. 21.10.2019: опубл. 19.10.2020 / С.А. Колодяжный, С.Н. Золотухин, Г.Д. Шмелев [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет». EDN LWFPGN.

4. Патент № 2647521 С1 Российская Федерация, МПК E02D 27/01. Способ изготовления сплошных плитных фундаментов коробчатого сечения из ребристых плит перекрытия: № 2017107309: заявл. 06.03.2017: опубл. 16.03.2018 / С.А. Колодяжный, С.Н. Золотухин, А.А. Абраменко [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет». EDNOSHRQX.

5. Патент № 2671019 С1 Российская Федерация, МПК E02D 27/01. Способ возведения стенчатого фундамента с использованием ребристых плит перекрытий (покрытий): № 2017118843: заявл. 30.05.2017: опубл. 29.10.2018 / С.А. Колодяжный, С.Н. Золотухин, А.А. Абраменко [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет». EDNZECBTV.

6. Патент № 2656656 С2 Российская Федерация, МПК E02D 3/12, E02D 27/08. Способ объемной цементации грунтов: № 2015149374: заявл. 17.11.2015: опубл. 06.06.2018 / С.Н. Золотухин, А.А. Абраменко, О.Б. Кукина [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет». EDNLBNQKT.

7. Золотухин С.Н., Золотухина М.С. Использование отходов строительных материалов в дизайне спортивно-оздоровительного комплекса // Материалы 14-ой межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии. Экология». 2011, С. 58-63.

8. Шмелев Г.Д., Головина Н.В. Ретроспективное прогнозирование технического состояния строительных конструкций // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2017. №3. С.93-108.

9. Шмелев Г.Д. Экспертный метод прогнозирования остаточного срока службы строительных конструкций по их физическому износу // Строительство и реконструкция. 2014. № 3 (53). С. 31-39.

10. Шмелев Г.Д., Головина Н.В. Прогнозирование надежности и остаточного ресурса строительных конструкций с использованием метода линеаризации в условиях ограниченной статистической информации // Сборник научных трудов SWorld. 2012. Т.6, № 4. С. 100-107.

References

1. SP 325.1325800.2017 Buildings and structures. Rules of work during dismantling and disposal.

2. Mariev, O.S. The impact of urbanization on carbon dioxide emissions in the regions of Russia / O.S. Mariev, N.B. Davidson, O.S. Yemelyanova // Journal of Applied Economic Research, 2020. Vol. 19.No. 3. P. 286-309. DOI 10.15826 / vestnik., 2020.19.3.014. EDN NYSEEM.

3. Patent No. 2734504 C1 Russian Federation, IPC E02D 27/00. A method for making a ribbon foundation of thin-walled reinforced concrete slabs with sinuses filled with compacted soil or ground concrete: No. 2019133432: application 21.10.2019: publ. 19.10.2020 / S.A. Kolodyazhny, S.N. Zolotukhin, G.D. Shmelev [et al.]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Technical University». EDN LWFPGN.

4. Patent No. 2647521 C1 Russian Federation, IPC E02D 27/01. Method of manufacturing solid slab foundations of box section from ribbed floor slabs: No. 2017107309: application 06.03.2017: publ. 16.03.2018 / S.A. Kolodyazhny, S.N. Zolotukhin, A.A. Abramenko [et al.]; applicant Federal State Budgetary Educational

Institution of Higher Education «Voronezh State Technical University». EDN OSHRQX.

5. Patent No. 2671019 C1 Russian Federation, IPC E02D 27/01. Method of construction of a wall foundation using ribbed slabs (coatings): No. 2017118843: application 30.05.2017: publ. 29.10.2018 / S.A. Kolodyazhny, S.N. Zolotukhin, A.A. Abramenko [et al.]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Technical University». EDN ZECBTV.

6. Patent No. 2656656 C2 Russian Federation, IPC E02D 3/12, E02D 27/08. Method of volumetric cementation of soils: No. 2015149374: application 17.11.2015: publ. 06.06.2018 / S.N. Zolotukhin, A.A. Abramenko, O.B. Kukina [et al.]; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State University technical university». EDN LBNQKT.

7. Zolotukhin S.N., Zolotukhina M.S. The use of construction materials waste in the design of a sports and recreation complex // Materials of the 14th interregional scientific and practical conference «High technologies. Ecology», 2011. P. 58-63.

8. Shmelev G.D., Golovina N.V. Retrospective forecasting of the technical condition of building structures // Housing and communal infrastructure. 2017. No. 3. P. 93-108.

9. Shmelev G.D. Expert method of forecasting the residual service life of building structures by their physical wear // Construction and reconstruction, 2014. No. 3 (53). P. 31-39.

10. Shmelev G.D., Golovina N.V. Forecasting the reliability and residual life of building structures using the linearization method in conditions of limited statistical information // Collection of scientific papers SWorld. 2012. Vol. 6, No. 4. P. 100-107.

Ёкубов Саидикром Акрамович – студент группы МИОФ-211 строительного факультета Воронежского государственного технического университета

Золотухин Сергей Николаевич – канд. техн. наук, профессор кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов Воронежского государственного технического университета

УДК 69.059.6

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

С.Н. Золотухин, А.А. Стукалин, А.О. Харина*

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

**Адрес для переписки: Золотухин Сергей Николаевич, E-mail: ua3qkc@mail.ru*

Статья посвящена технологиям поэлементного демонтажа элементов зданий и сооружений. В наше время достаточно много объектов подлежат сносу, в результате чего образуется большое количество строительного мусора. Сам собой возникает вопрос о повторном использовании строительных материалов и изделий, полученных путем поэлементного демонтажа конструкций. Такой способ решит проблемы утилизации строительного мусора без вывоза его на свалки ТБО, а также значительно снизит стоимость строительства с применением повторно используемых материалов.

Ключевые слова: строительство, повторное использование строительных материалов, снос зданий и сооружений, поэлементный демонтаж конструкций, разборка

DEVELOPMENT AND USE OF CLOSED-LOOP INDUSTRIAL TECHNOLOGIES

S.N. Zolotukhin, A.A. Stukalin, A.O. Kharina*

*Voronezh state technical University,
Russian Federation, 394006, Voronezh, ul. 20-letiya Oktyabrya, 84*

**Address for correspondence: Sergey N. Zolotukhin, E-mail: ua3qkc@mail.ru*

The article is devoted to the technologies of element-by-element dismantling of elements of buildings and structures. Nowadays, quite a lot of objects are subject to demolition, resulting in a large amount of construction debris. By itself, the question arises about the reuse of building materials and products obtained by element-by-element dismantling of structures. This method will solve the problems of disposal of construction waste without taking it to landfills, as well as significantly reduce the cost of construction using recycled materials.

***Keywords:** construction, reuse of building materials, demolition of buildings and structures, element-by-element dismantling of structures, dismantling*

Введение. В наше время большое количество зданий и сооружений сносятся по различным причинам [8,11]:

- Физический износ. Происходит по причинам старения здания с течением времени, в результате чего строения теряют ранее заложенные в них свойства. Это выражается появлением дефектов, которые приводят к снижению несущей способности зданий и сооружений.
- Аварийное состояние, при котором можно говорить о возможном обрушении здания.
- Частичное разрушение. Происходит по причинам техногенного характера, природных катаклизмов и другим причинам потери здания устойчивости. В результате таких воздействий все здание или его часть разрушается, а оставшиеся элементы подлежат сносу.
- Достижение зданием морального износа. Возникает в результате появления современных требований к зданиям и сооружениям, в результате чего большинство старых строений перестает им соответствовать [8].
- Отсутствие соответствия концепции градостроительства. Возникает по разнообразным причинам. Как правило, при сносе техническое состояние строения практически не учитывается. В большинстве случаев ведущую роль при сносе играет запланированное строительства объектов регионального и городского значения на месте существующих строений.

Существуют разные методы сноса зданий, рассмотрим далее некоторые из них.

Механизированный метод сноса. Данный способ выполняется с применением гусеничной техники, как тяжелой, так и легкой с разнообразным навесным оборудованием, а также пневматических инструментов. Наибольшую востребованность данный способ получил в основном при сносе кирпичных и бетонных зданий и сооружений, а также их фундаментов. При значительных объемах работ по сносу более производительным и рациональным считается именно этот способ. За счет скорости выполнения работ находит применение даже в условиях плотной городской застройки, при условии, что не требуется особая аккуратность действий (рис. 1).



Рис. 1. Снос здания механизированным способом с применением экскаватора

По технологии здание сносится сверху вниз. Каждый элемент здания сносится с точной последовательностью. Очень важно предотвратить обрушение деталей.

Взрывной метод демонтажа. Снос зданий взрывом - это быстрый и экономически более выгодный демонтаж сооружений любого размера и назначения (рис. 2).



Рис. 2. Снос здания взрывным методом

Перед выбором данного способа сноса здания или сооружения необходимо учесть все его нюансы. В первую очередь в проекте производства работ должен быть разработан раздел анализа сносимого объекта с технической стороны, в нем должны быть определены основные точки здания, на которые нужно приложить воздействие для дальнейшего разрушения всего объекта сноса в целом. Правильно найденные такие точки позволяют привести к разрушению объекта с использованием минимального количества взрывчатых веществ. В свою очередь благодаря этому возможно минимизировать выброс веществ в окружающую среду, а также значительно уменьшить нагрузку от вибрации и взрывной волны на окружающую территорию.

Взрывчатые вещества закладываются в специально проделанные полости, которые называются шпурами. Они выполняются заблаговременно при помощи отбойных молотков, перфораторов и других, подходящих для этих задач инструментов. После в полости закладывают заранее необходимое количество взрывчатых веществ, подготавливают электродетонаторы и протягивают кабель связи, чтобы детонатор находился на безопасном расстоянии от места подрыва.

Затем запрограммированное устройство выполняет подрыв зарядов в заранее определенной последовательности. Таким образом, возможно, контроли-

ровать направленность разрушения здания. В случаях, когда здание нужно снести внутрь, первым начинают подрыв с внутренних стен, после чего подрываются наружные стены с внутренней стороны строения, которые падают на ранее разрушенные внутренние стены.

При сносе прочных строительных конструкций, возможно, использовать специальные взрывчатые вещества, которые при детонации разрушают материалы на мелкие кусочки.

Разрушение методом взрыва практически не распространен на территории Российской Федерации, так как на законодательном уровне наложено значительное количество ограничений на использование взрывчатых материалов [7, 9].

Специальные способы сноса. Данные методы демонтажа зданий и сооружений применяются очень редко. Среди них выделяют: электрогидравлический способ, гидровзрывной, термический и способ гидрогаскалывания.

Гидровзрывной метод применяется при необходимости уничтожения конструкций замкнутой формы или резервуаров, а также бетонных и железобетонных конструкций.

Суть этого метода заключается в заполнении свободного пространства разрушаемой конструкции водой или глинистым раствором.

Основной недостаток данного метода заключается в потребность в дорогостоящем оборудовании и дорогостоящей стоимости производства работ.

Термический метод продуктивен при сносе конструкций из монолитного бетона и железобетона.

Для термической резки конструкций необходим мощный источник теплового потока в виде газового потока или электрической дуги. Принцип действия данного метода заключается в переправлении бетонных конструкций продуктами сгорания железа в потоке кислорода, который поступает в сгораемую трубу в необходимом количестве, для горения и выноса шлака из переплавляемой конструкции. Для применения данного способа необходимо наличие дорогостоящего оборудования и высококвалифицированных специалистов, а также

оказывает сильное экологическое воздействие на окружающую среду. Таким образом этот способ не получил широкого применения.

Электрогидравлический метод в основном используется для сноса конструкций из каменной кладки, бетона и бутобетона.

Одними из главных преимуществ данного метода является отсутствие взрывной волны и непосредственно осколков конструкций, что повышает безопасность рабочих и оборудования.

Суть метода заключается в том, что разрушаемую конструкцию необходимо поместить в ванну, которая заполнена специальной жидкостью, из чего вытекает главный недостаток – возможность разрушать только конструкции небольших размеров.

Способ гидрораскалывания в основном используется в стесненных условиях, для разрушения кирпичных и бетонных конструкций.

Суть метода заключается в применении клиновидных устройств с гидравлическими цилиндрами. Предварительно в конструкции сверлится отверстие, затем помещается клиновое устройство, которое за счет подачи гидравлической жидкости приводится в действие. Усилие в цилиндрах увеличивается, благодаря чему происходит бесшумное разрушение конструкции без разлета осколков. Но целесообразность применения данного способа можно обусловить только наличием стесненных условий.

Снос строений всегда сопровождается появлением огромного количества строительного мусора, который необходимо сортировать, вывозить и утилизировать. С учетом мировой практики рационального использования строительного мусора, можно сделать вывод, что все перечисленные способы демонтажа зданий и сооружений давно устарели и приводят к заполнению нашей планеты огромным количеством строительных отходов (рис. 3) [9].

Основная часть. С появлением современных ручных инструментов и самоходной техники в совокупности со средствами малой механизации, стало возможным развитие в России способа поэлементного демонтажа конструкций. В феврале 2022 года Министерстве строительства России утвердило Изменение

№ 1 к СП 325.1325800.2017 «Здания и сооружения. Правила производства работ при демонтаже и утилизации» [1]. Изменения устанавливают требования поэлементного демонтажа зданий и сооружений, принимают опыт применения лучших мировых практик и новых развитых технологий при сносе, предусматривают требования безопасности при производстве работ. Установленные требования поэлементного демонтажа позволяют отсортировать и максимально использовать отходы на строительной площадке.



Рис. 3. Строительный мусор, образовавшийся в результате сноса здания

Главным преимуществом данного метода является возможность повторного использования строительных материалов.

Этот способ получил широкое использование при демонтаже как промышленных, так и гражданских зданий в г. Воронеж и используется при строительстве большого множества малоэтажных жилых зданий, гаражей, дренажей и дорог, примыкающих ко всем этим объектам [4, 10, 12-13].

Главное преимущество данной технологии заключается в значительном снижении плохого влияния на окружающую среду, ведь для производства 1 м^3 железобетона требуется сжечь 5-6 тыс. кг топлива, а сжигая 1 т топлива происходит расход 2,2 т кислорода и выброс 2,7 т углекислого газа, а повторное ис-

пользование железобетонных конструкций значительно снижает негативное воздействие на атмосферу нашей планеты [14-15]. А также значительно уменьшается количество строительных отходов, попадающих на свалки ТБО, намного снижается стоимость строительства объектов с применением повторно используемых строительных материалов.

Из недостатков поэлементного демонтажа конструкций можно выделить увеличение продолжительности работ использование ручного труда.

Основные правила по демонтажу строительных конструкции приведены в нормативной документации [1-3].

Перед началом разборки здания рекомендуется разрабатывать поэлементную схему удаления конструкций строения. В соответствии с выработанной схемой намечаются места разъединения элементов конструкции. Затем конструкцию необходимо временно закрепить, чтобы предотвратить самопроизвольное преждевременное разрушение. Для безопасности окружающих необходимо установить временное ограждение, защитные козырьки и настилы.

При работе с железобетонными конструкциями значительно ускоряет и облегчает работу технология алмазной резки (рис. 4).



Рис. 4. Применение технологии алмазной резки при демонтаже

Использование инструмента с алмазным напылением дает следующие преимущества:

- Быстрота реза бетонных, железобетонных и кирпичных конструкций любой сложности с минимальной передающейся нагрузкой на конструкцию;
- Работы выполняются без постороннего шума и с минимальной вибрацией, передающейся конструкциям;
- Конструкции полученные алмазной резкой, наиболее пригодны к повторному использованию с минимальным разрушением сопряжением узлов сопряжения конструкций.

При поэлементном демонтаже конструкций обычно встречается два способа разборки одноэтажных зданий: отдельный, который подразумевает под собой поэлементный демонтаж конструкций всего здания и комплексный, при котором здание разбирается посекционно. Иногда на практике применяется комбинация этих методов. Многоэтажные здания лучше всего разбирать поэтажно отдельными секциями или по всей длине здания. Рассмотрим некоторые особенности поэлементного демонтажа строительных конструкций.

Кровлю зданий и сооружений демонтируют в несколько этапов: сначала демонтируют кровельное покрытие, затем уже несущие элементы конструкции (рис. 5). При аккуратном демонтаже есть возможность сохранить до 80-85 % строительных конструкций.



Рис. 5. Демонтаж кровельного покрытия

В большинстве старых зданий стены из кирпича выполнялись на известковом растворе. Это позволяет легко их разобрать в виде отдельных кирпичей с легко отделяющимся раствором, что позволяет использовать основную массу их повторно. Одним из главных недостатков такого демонтажа является образование большого количества пыли. Демонтаж кирпичных стен выполненных на известково-цементном и цементном растворе следует выполнять укрупненными блоками (рис. 6), чтобы их можно было использовать повторно.



Рис. 6. Демонтаж кирпичных стен

При демонтаже плит перекрытия сначала нужно максимально изучить схему расположения конструкций. В первую очередь демонтаж необходимо начать с плит перекрытия, затем демонтируются балки. Данная последовательность строго регламентируется документацией, и нарушать ее категорически запрещено, так как любые отклонения могут спровоцировать преждевременное обрушение всей конструкции.

Повторное применение строительных материалов, полученных методом поэлементного демонтажа. Сотрудниками ВГТУ проводилось немало исследований в области повторного применения строительных конструкций [4-6, 13] и испытаний характеристик материалов. Было выявлено, что прочность

многих конструкций превосходит многие материалы, выпускающиеся по современным технологиям. Этот факт позволяет дать вторую жизнь большому количеству строительных конструкций, получаемых именно методом поэлементного демонтажа, без их разрушения.

Рассмотрим некоторые варианты повторно применения материалов.

Одним из вариантов является сборно-монолитные фундаменты из ранее использованных железобетонных плит (рис. 7-8). Такой фундамент ничем не уступает по прочности, но значительно удешевляет строительство.



Рис. 7. Устройство сборно-монолитного фундамента из использованных ранее ребристых плит



Рис. 8. Монтаж фундамента из б/у ребристых плит

Еще одним примером повторного использования могут послужить деревянные строительные материалы, не потерявшие свою прочность, не пораженные гнилью и коррозией. Такие материалы можно использовать в качестве настила или применять как опалубку для фундамента (рис. 9).



Рис. 9. Повторное использование деревянных материалов в строительных лесах

Так же рассмотрим варианты повторного использования кирпича, полученного методом поэлементного демонтажа. Такой материал, возможно, использовать в качестве декоративного, с недавних времен все больше и больше приобретает популярность использования в экстерьере и интерьере зданий «винтажного» кирпича (рис. 10).



Рис. 10. Применение «винтажного» кирпича в интерьере

При отделке фасада здания (рис. 11) нужно уделить особое внимание используемым материалам, чтобы внешний вид дома оставался привлекательным в течение длительного времени, невзирая на любые погодные условия.



Рис. 12. Облицовка здания б/у кирпичом

Правильно демонтированный кирпич, без потери своих характеристик - оптимальное решение. Он по-прежнему прочен, обладает удивительной и неповторимой фактурой. И спустя десятилетия кирпичная кладка будет все по-прежнему красива. Ведь, обладая высокой прочностью, кирпич или плитка из такого кирпича устойчивы к различным внешним воздействиям.

Вместо цельного кирпича при отделке фасада можно использовать плитку, что дает меньшую нагрузку на фундамент. Огромным плюсом материала можно назвать экологическую чистоту, кирпич абсолютно безопасен для человека и не выделяет никаких вредных веществ.

Заключение. В настоящее время с ростом количества сносимых зданий все привлекательней и привлекательней выглядит метод поэлементной разборки. В отличие от сноса, он имеет много значительных преимуществ. Множество материалов, не утративших свою прочность, могут обрести вторую жизнь в новом строительстве. Это приведет как к кардинальному уменьшению строительного мусора, так и к значительному уменьшению стоимости строительства.

Список литературы

1. СП 325.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила производства при демонтаже и утилизации. М., 2017. 57 с.
2. СТО НОСТРОЙ 2.33.53-2011 СНОС (Демонтаж) зданий и сооружений. Москва, 2012.
3. ВСН 39-83(р). Инструкция по повторному использованию изделий, оборудования и материалов в жилищно-коммунальном хозяйстве/ Госгражданстрой. М.: Стройиздат, 1985. 32 с.
4. Колодяжный С.А., Золотухин С.Н., Абраменко А.А., Артемова Е.А. Снос зданий и использование материалов, образующихся при реновации городских территорий // Вестник МГСУ, 2020. Т. 15. Вып. 2. С. 271-293. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.271-293.
5. Патент РФ RU 2671 019 С1. Способ возведения стенчатого фундамента с использованием ребристых плит перекрытий (покрытий) / Колодяжный С.Н., Золотухин С.Н., Абраменко А.А., Кукина О.Б., Вязов А.Ю., Лобосок А.С., Милованова В.И. Заявл. №2017118843, 30.05.2017; опубл. 29.10.2018, Бюл. № 31.
6. Патент РФ RU 2647521 С1. Способ изготовления сплошных плитных фундаментов коробчатого сечения из ребристых плит перекрытия / Колодяжный С.Н., Золотухин С.Н., Абраменко А.А., Кукина О.Б., Вязов А.Ю., Лобосок А.С., Милованова В.И. Заявл. №2017107309, 06.03.2017; опубл. 16.03.2018, Бюл. № 8.
7. Галаева Н.Л. Использование метода взрыва для сноса зданий и сооружений в условиях городской застройки // Перспективы науки. 2019. № 5 (116). С. 54-56.
8. Гельдыев М.Т., Аразов Б.М. Технологиисноса зданий // Молодежь и наука: шаг к успеху: сб. науч. ст. 3-й Всеросс науч. конф. перспективных разработок молодых ученых. Курск, 21-22марта 2019 г. Курск: Университетскаякнига, 2019.С. 27-30.

9. Mihai F.-C. Construction and Demolition Waste in Romania: The Route from illegal dumping to building materials // Sustainability. 2019. Vol. 11. Issue 11. DOI: 10.3390/su11113179.

10. Technologies of reusing materials obtained during step-by-step demolition of buildings / S.N. Zolotukhin, V.P. Volokitin, N.M. Kovalev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Yalta, Crimea, 25-29 мая 2020 года. Yalta, Crimea, 2020. P. 012024. DOI 10.1088/1757-899X/889/1/012024. EDN CUMNRM.

11. Huang B., Wang X., Kua H., Geng Y., Bleischwitz R., Ren J. Construction and demolition waste management in China through the 3R principle // Resources, Conservation and Recycling. 2018. Vol. 129. P. 36-44. DOI: 10.1016 / j.resconrec. 2017. 09.029.

12. 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. Vol. 229. DOI: 10.1016/ j.conbuildmat. 2019.116844.

13. Золотухин С.Н., Насонова Т.В., Потехин И.А. Рациональное строительство с повторным использованием строительных материалов, конструкций, изделий после сноса здания // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2018. № 10. С. 206-209.

14. Mahayuddin S.A., Ishak N.R., Wan Zaharuddin W.A.Z., Ismam J.N. Assessment on the reuse and recycling of domestic solid waste in Malaysia // Geographia Technica. 2020. P. 74-82. DOI: 10.21163/gt_2020.151.24.

15. Сухина Е.А. Строительство зданий из вторичного сырья с учетом требований экологических стандартов // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. Вып. 2. С. 186-201. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.2.186-201.

References

1. SP 325.1325800.2017. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila proizvodstva pri demontazhe i utilizatsii. [Buildings and constructions. Production rules for dismantling and disposal]. Moscow, 2017. 57 p. (in Russian).

2. STO NOSTROY 2.33.53-2011 Demolition (Dismantling) of buildings and structures. Moscow, 2012.

3. VSN 39-83 (p) Instruktsiya po povtornomu ispolzovaniyu izdeliy, oborudovaniya I materialov v zhilischno-kommunalnom hozyaystve [Instructions for the reuse of products, equipment and materials in housing and communal services]. Gosgrazhdanstroi. M.: Stroiiizdat, 1985. 32 p. (in Russian).

4. Kolodyazhny S.A., Zolotukhin S.N., Abramenko A.A., ArtemovaYe.A. Destruction of buildings and use of materials from renovated urban territories. Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(2):271-293. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.271-293 (rus.).

5. Kolodyazhny S.N., Zolotukhin S.N., Abramenko, A.A., Kukina O.B., Vyazov A.Y., Lobosok A.S., Milovanova V.I. Sposob vozvedeniya stenchatogo fundamenta s ispolzovaniem rebristyyih plit perekryitiy (pokryitiy) [The method of construction sanatoga Foundation using ribbed slabs (surfaces)]. Patent RF, no. 2671 019 C1, 2018 (in Russian).

6. Kolodyazhny S.N., Zolotukhin S.N., Abramenko, A.A., Kukina O.B., Vyazov A.Y., Lobosok A.S., Milovanova V.I. Sposob izgotovleniya sploshnyh plitnyh fundamentov korobchatogo secheniya iz rebristyyih plit perekrytiya [The method for manufacturing solid box-section slab foundations from ribbed floor slabs]. Patent RF, no. 2 647 521 C1, 2018 (in Russian).

7. Galaeva N.L. Using the explosion method for the demolition of buildings and structures in urban development // Prospects of science. 2019. No. 5 (116). P. 54-56.

8. Geldiev M.T., Arazov B.M. Demolition technologies // Youth and science: a step towards success: Sat. scientific Art. 3rd All-Russian scientific.conf. promising developments of young scientists. Kursk, March 21-22, 2019. Kursk: Universitetskayakniga, 2019. P. 27-30.

9. Mihai F.-C. Construction and Demolition Waste in Romania: The Route from illegal dumping to building materials // Sustainability. 2019. Vol. 11. Issue 11. DOI: 10.3390/su11113179.

10. Technologies of reusing materials obtained during step-by-step demolition of buildings / S.N. Zolotukhin, V.P. Volokitin, N.M. Kovalev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Yalta, Crimea, May 25-29, 2020. Yalta, Crimea, 2020. P. 012024. DOI 10.1088/1757-899X/889/1/012024. -EDN CUMNRM.

11. Huang B., Wang X., Kua H., Geng Y., Bleischwitz R., Ren J. Construction and demolition waste management in China through the 3R principle // Resources, Conservation and Recycling. 2018. Vol. 129. P. 36-44. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.09.029.

12. 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. Vol. 229. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116844.

13. Zolotukhin S.N., Nasonova T.V., Potekhin I.A. Rational construction with reuse of building materials, structures, products after the demolition of the building // Resource and energy efficient technologies in the construction complex of the region. 2018. No. 10. P. 206-209.

14. Mahayuddin S.A., Ishak N.R., Wan Zaharuddin W.A.Z., Ismam J.N. Assessment on the reuse and recycling of domestic solid waste in Malaysia // Geographia Technica. 2020. P. 74-82. DOI: 10.21163/gt_2020.151.24.

15. Sukhinina E.A. Construction of buildings from secondary raw materials, taking into account the requirements of environmental standards. VestnikMGSU. 2021. Vol. 16. Issue. 2. P. 186-201. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.2.186-201.

Золотухин Сергей Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов Воронежского государственного технического университета
Стукалин Андрей Александрович – студент группы МИОФ-211 строительного факультета Воронежского государственного технического университета
Харина Анастасия Олеговна – студентка группы МИОФ-211 строительного факультета Воронежского государственного технического университета

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 666.972

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАСТИЧНОСТИ
И ФОРМОУСТОЙЧИВОСТИ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ
ЦЕМЕНТНЫХ СМЕСЕЙ НА ИЗВЕСТНЯКОВОЙ МУКЕ
ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ 3D-ПЕЧАТИ**

Г.С. Славчева, О.В. Артамонова, М.А. Шведова, Д.С. Бабенко*

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

**Адрес для переписки: Артамонова Ольга Владимировна,*

E-mail: ol_artam@rambler.ru

В работе представлены экспериментальные данные реологического поведения модифицированных цементных смесей для 3D-печати, содержащих в своем составе наполнитель и модификатор вязкости. При исследовании реологического поведения использованы сдвигающие тесты: для оценки показателя пластичности, характеризующего способность смесей сохранять агрегативную устойчивость в процессе экструзии, использовали сдвигающий тест с постоянной скоростью деформирования; для оценки формоустойчивости использовали сдвигающий тест с постоянной скоростью нагружения, по результатам которого найдены значения структурной и пластической прочности, пластических деформаций модифицированных цементных смесей, характеризующие их способность сохранять форму при действии возрастающих сжимающих напряжений в процессе печати. Получены количественные данные о влиянии видов модификаторов вязкости различного химико-минералогического состава и дисперсности на пластичность и формоустойчивость цементных смесей. Установлено, что наиболее эффективными модификаторами вязкости являются метакаолин и комплексный модификатор тетракалий пирофосфат в сочетании с камедью.

Ключевые слова: цементные смеси, модифицирование, модификаторы вязкости, реологические свойства, строительная 3D-печать

**EXPERIMENTAL STUDIES OF PLASTICITY AND FORM STABILITY
MODIFIED CEMENT MIXTURES ON LIMESTONE POOR
FOR CONSTRUCTION 3D PRINTING**

G.S. Slavcheva, O.V. Artamonova, M.A. Shvedova, D.S. Babenko*

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

**Corresponding author: Olga V. Artamonova, e-mail: ol_artam@rambler.ru*

The paper presents experimental data on the rheological behavior of modified cement mixtures for 3D printing containing a filler and a viscosity modifier. In the study of rheological behavior, compression tests were used: to assess the plasticity index, which characterizes the ability of mixtures to maintain aggregative stability during extrusion, a compression test with a constant strain rate was used; to assess the dimensional stability, a compression test with a constant loading rate was used, according to the results of which the values of structural and plastic strength, plastic deformations of modified cement mixtures were found, characterizing their ability to retain their shape under the action of increasing compressive stresses during printing. Quantitative data have been obtained on the effect of viscosity modifiers of various chemical and mineralogical composition and fineness on the plasticity and dimensional stability of cement mixtures. It has been established that the most effective viscosity modifiers are metakaolin and complex modifier tetrapotassium pyrophosphate in combination with gum.

Keywords: cement mixtures, modification, viscosity modifiers, rheological properties, building 3D printing

Введение. В настоящее время 3D-печать в строительстве является приоритетным направлением, при этом одной из проблем применения 3D-печати в

строительстве является создание печатных смесей [1-5]. Это связано с тем, что строительные смеси, и в частности, цементные строительные смеси для 3D-печати должны соответствовать требованиям универсальности и экономичности, также удовлетворять всем этапам процесса печати от создания смеси до получения готового печатного изделия. Они должны обладать экструдиремостью для их перекачки к головке экструдера и осуществления процесса печати, формоустойчивостью – для формирования слоя, который не будет деформироваться под собственным весом и весом вышележащих слоев, а также обладать заданной скоростью схватывания и твердения. В предыдущих работах [5, 6] авторами было установлено, что основными критериями, позволяющими оценить способность вязко-пластичных цементных систем к экструзии, являются устойчивость и способность к пластическому течению с неразрушенной структурой под действием сжимающих напряжений. Экструдиремость смесей можно оценить при помощи предела пластичности $K_i(I)$, а количественными критериями формоустойчивости являются структурная прочность σ_0 , характеризующая способность системы сопротивляться деформированию, а также величины пластической прочности $\sigma_{пл}$ и относительных пластических деформаций $\Delta_{пл}$, отражающие способность системы пластически деформироваться без разрушения. В результате были установлены критериальные значения указанных реологических характеристик, определяющие успешную реализацию процесса 3D-печати: $K_i(I) = 1,0 \div 2,5$ кПа, $\sigma_0 \geq 2,5$ кПа, $\sigma_{пл} \geq 30$ кПа, $\Delta_{пл} \leq 0,05$ мм/мм.

Одним из наиболее эффективных и экономичных способов управления реологическим поведением строительных смесей для 3D печати является введение в исходную сырьевую смесь наполнителя и добавок-модификаторов вязкости. Механизм действия наполнителей и модификаторов вязкости будет определяться их химико-минералогическим составом и дисперсностью.

Целью данной работы является определение рациональных дозировок модификаторов вязкости при использовании в качестве наполнителя известняковой муки, обеспечивающих критериальные для 3D-печати значения пластичности и формоустойчивости цементных систем.

Экспериментальная часть. В качестве исходных компонентов для создания цементных смесей использовались портландцемент ЦЕМ I 42,5 (ГОСТ 31108 – 2016), техническая вода и суперпластификатор (СП) на основе поликарбоксилатных эфиров (марки Sika[®]ViscoCreate[®]T100). Концентрация суперпластификатора для модифицированных цементных систем принималась постоянной 1,2 % от массы цемента и определялась эмпирически для достижения необходимой консистенции и связности цементного раствора.

Для проведения экспериментальных исследований были приготовлены цементные смеси с различными модификаторами вязкости, в качестве наполнителя использовали известняковую муку ($d < 0,055$ мм, 348 м²/кг).

В качестве модификаторов вязкости использовали:

- метакаолин (МКЛ) марки ВМК-45 ($Al_2O_3 \cdot SiO_2$; SiO_2 - 53 %, Al_2O_3 – 47 %);

- комплексный модификатор вязкости (КМ + ТКПФ), из состоящий ксантановой камеди марки FUFENG[®]80 ($(C_{35}H_{49}O_{29})_n \sim 91$ %) в сочетании с тетракалий пиррофосфатом техническим ($K_4P_2O_7$ - 98 %);

- комплексная наноразмерная добавка на основе диоксида кремния (КНД) состава «наноразмерные частицы SiO_2 – суперпластификатор», полученную золь-гель синтезом в соответствии с методикой, предложенной в работе [7]. В собственных исследованиях [7, 8] были определены форма и размер частиц SiO_2 методами лазерной дифракции и просвечивающей электронной микроскопии, а также изучен процесс агломерации частиц методом динамического рассеяния света. Установлено, что средний размер частиц КНД составляет 5-10 нм, при этом они являются агрегативно устойчивыми в течение 7 суток от момента синтеза.

Состав, концентрации исходных компонентов и обозначение исследуемых систем представлены в табл. 1.

Состав и основные характеристики исследуемых систем

№ си-	Состав системы	В/Ц	$\omega_{сп}$, % от массы це- мента	$\omega_{доб.}$, % от массы цемента	Обозначение системы
1	Цемент, вода, суперпластификатор	0,25	0,2	0	Ц – В – СП
2	Цемент, вода, суперпластификатор, известняковая мука	0,38	1,2	0	Ц – В – СП – ИМ
3	Цемент, вода, суперпластификатор, известняковая мука, метакаолин	0,39	1,2	2	Ц – В – СП – МКЛ – ИМ
4	Цемент, вода, суперпластификатор, известняковая мука, ксантановой камедь, тетракалий пирофосфат	0,40	1,2	0,2	Ц – В – СП – КМ – ТКПФ – ИМ
				0,2	
5	Цемент, вода, суперпластификатор, известняковая мука, комплексная нано-добавка на основе SiO ₂	0,40	1,2	0,01	Ц – В – СП – КНД – ИМ

Концентрация добавок-модификаторов вязкости и наполнителя была оптимизирована на этапе предварительных исследований и принималась постоянной. Концентрация суперпластификатора для каждой системы определялась эмпирически для достижения необходимой консистенции и связности цементного раствора.

Для оценки пластичности и формоустойчивости цементных систем проводили сдавливающие тесты, методика которых обоснована в работах [9, 10]. Испытания проводились с использованием системы INSTRON 5982. Для проведения сдавливающих тестов из полученных смесей формировали свежееотформованные цилиндрические образцы цементного теста размером $R = h_0 = 25$ мм. Изготавливалось 3 образца, каждый из которых помещался между двумя гладкими пластинами, диаметр которых соответствовал размеру образца.

Для оценки пластичности использовали сдавливающий тест с постоянной скоростью деформирования 5 мм/с [10]. Полученные в процессе испытаний кривые «нагрузка P – перемещение Δ » интерпретировались в виде кривых зависимости приведенной нагрузки F^* от относительного изменения высоты образца h_i/R (соотношение 1):

$$F_i^* = \frac{Ph_i}{\pi R^2}. \quad (1)$$

Для точек перегиба на данной кривой рассчитывалась величины предела пластичности $K_i(I)$ и предела текучести $K_i(II)$.

Для оценки формоустойчивости испытание проводилось при постоянной скорости нагружения 0,5 Н/с, что соответствует средней скорости возрастания нагрузки при печати строительных объектов промышленно производимыми принтерами [9]. Испытания проводились через 10 минут после формования образца. Эксперимент проводился до разрушения образца, в процессе испытания фиксировались кривые «перемещение Δ – время t » и «нагрузка σ – перемещение Δ ». Значения прочности исследуемых систем на различных этапах деформирования рассчитывали по формуле (2):

$$\sigma_0 = \frac{P}{\pi R^2}. \quad (2)$$

По результатам испытаний характеризовали показатели формоустойчивости цементных систем:

- структурную прочность σ_0 , значения которой рассчитывалась исходя из величины нагрузки в момент начала деформирования образцов;
- пластическую прочность ($\sigma_{пл}$), значения которой рассчитывалась исходя из величины нагрузки в момент начала трещинообразования образцов;
- относительные пластические деформации вязко-пластичных образцов ($\Delta_{пл} = \Delta / h_0$), значения которой рассчитывалась исходя из величины абсолютной деформации образцов Δ в момент начала трещинообразования.

Для всех полученных систем с использованием сдавливающего теста с постоянной скоростью нагружения оценивались закономерности изменения агрегативной устойчивости структуры при $h_i/R \approx 0,90$, $h_i/R \approx 0,93$, $h_i/R \approx 0,77$. Процесс трещинообразования исследовали с помощью оптического стереомикроскопа MEIGI RZ с общим основным объективом СМО (CommonMainObjective).

Результаты и их обсуждение. Оценка пластичности и устойчивости структуры при сдавливании с постоянной скоростью деформирования.

Исследуемые смеси и их реологические характеристики пластичности представлены на рис. 1 и в табл. 2.

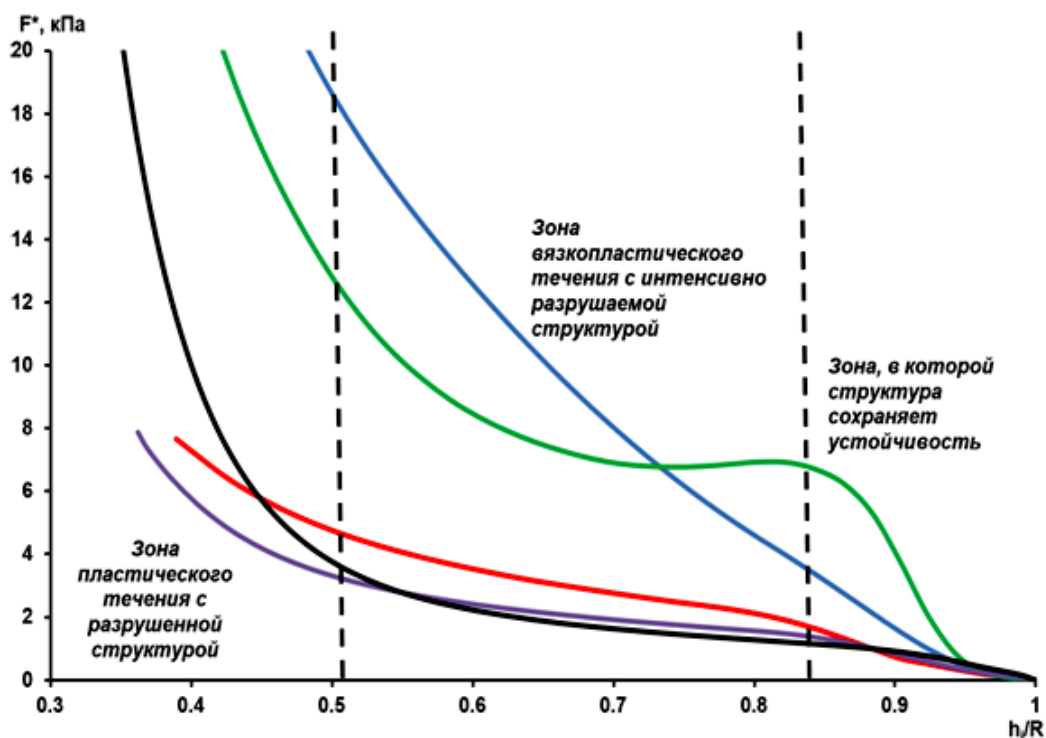


Рис. 1. Экспериментальные кривые $F^* = f(h_i/R)$ для исследованных систем (наполнитель известняковая мука). Обозначено: — - Ц-В-СП; — - Ц-В-СП-ИМ; — - Ц-В-СП-ИМ-МКЛ; — - Ц-В-СП-ИМ-ТКПФ-КМ; — - Ц-В-СП-ИМ-КНД

Таблица 2

Характеристики пластичности смесей для 3D-печати

Состав смеси	Характеристика смеси	$K_i(I)$, кПа	$K_i(II)$, кПа
Ц – В – СП	Система пластичная, хорошо перемешивается, оплывает при извлечении из формы.	2,14	8,20
Ц – В – СП – ИМ	Система хорошо перемешивается, мягкая, держит форму, слегка оплывает при выдавливании из формы.	2,29	8.38
Ц – В – СП – МКЛ – ИМ	Система связанная, пластичная, жесткая, трудно перемешивается, образцы держат форму, совсем немного оплывают при выдавливании из формы.	1,27	4,34
Ц – В – СП – КМ – ТКПФ – ИМ	Система связанная, пластичная, хорошо перемешивается, образцы держат форму, но оплывают при выдавливании из формы.	0,87	3,06
Ц – В – СП – КНД – ИМ	Система связанная, пластичная, хорошо перемешивается, образцы держат форму, но оплывают при выдавливании из формы.	0,85	2,58

Все эталонные системы по реологическому поведению относятся ко второму типу кривых $F^* = f(h_i/R)$, для которых не фиксируются ярко выраженные переходы между участками кривой. Для данных систем значения предела пластичности $K_i(I)$ находятся в диапазоне $2,14 \div 2,29$ кПа, а значения предела текучести $K_i(II)$ находятся в диапазоне $8,20 \div 8,38$ кПа.

Реологическое поведение модифицированных цементных систем (рис. 1) отвечает второму и третьему типу кривых $F^* = f(h_i/R)$. Ко второму типу кривых относится система Ц – В – СП – МКЛ – ИМ. Данная система является вязкопластичной, значения предела пластичности $K_i(I) = 1,27$ кПа, значения предела текучести $K_i(II) = 4,34$ кПа.

Данная система обладают хорошей способностью к экструзии вследствие достаточной её пластичности и способности к вязкопластическому течению без разрушения структуры. Переход к третьему типу кривых и потеря устойчивости для систем с метакаолином не характерен.

К третьему типу кривых относятся системы Ц–В–СП – КМ – ТКПФ – ИМ и Ц – В – СП– КНД – ИМ, данные системы являются пластичными, но неустойчивыми, значение предела пластичности $K_i(I) < 1$ кПа. В данных системах снизить текучесть можно изменением водоцементного отношения.

Для модифицированных цементных систем с использованием сдавливающего теста с постоянной скоростью нагружения оценивались закономерности изменения агрегативной устойчивости структуры при $h_i/R \approx 0,90$, $h_i/R \approx 0,93$, $h_i/R \approx 0,77$ (рис. 2).

Для системы Ц – В – СП (эталон без наполнителей и модификаторов вязкости) реологическое поведение отвечает второму типу кривых, величина нагрузки, соответствующая началу пластического течения, составляет $\sim 3,6$ кПа, переход в состояние течения с разрушенной структурой происходит при $F^* \sim 5,8$ кПа. При этом значение предела пластичности $K_i(I) = 2,14$ кПа и предела текучести $K_i(II) = 8,20$ кПа, соответственно. При нагрузке $F^* = 0 \div 4$ кПа система деформируется, сохраняя целостность структуры, без образования трещин. Когда система начинает течение с разрушенной структурой образуются не-

большие трещины на торце образца при значении абсолютной деформации 5,89 мм (относительная деформация $h_i/R \approx 0,77$). Ширина раскрытия трещины при нагрузке $F^* = 6,05$ кПа составляет 0,83 мм.

Для системы Ц – В – СП – ИМ (эталон без модификатора вязкости) реологическое поведение отвечает второму типу кривых, при этом величина нагрузки, соответствующая началу пластического течения, составляет ~ 4 кПа, переход в состояние течения с разрушенной структурой происходит при $F^* \sim 6$ кПа. При этом значение предела пластичности $K_i(I) = 2,24$ кПа и предела текучести $K_i(II) = 8,38$ кПа, соответственно. При нагрузке $F^* = 0 \div 4$ кПа система деформируется, сохраняя целостность структуры, без образования трещин.

Когда система начинает течение с разрушенной структурой образуются небольшие трещины на торце образца при значении абсолютной деформации 5,89 мм (относительная деформация $h_i/R \approx 0,77$). Ширина раскрытия трещины при нагрузке $F^* = 3,98$ кПа составляет 0,1 мм. Введение мелкодисперсного наполнителя (известняковой муки) влияет на агрегативную устойчивость цементной системы, ширина раскрытия трещин \sim в 8 раз меньше, чем у эталона без наполнителя при соответствующей абсолютной деформации.

Для системы Ц – В – СП – МКЛ – ИМ реологическое поведение отвечает второму типу кривых. Величина нагрузки, соответствующая началу пластического течения, составляет $\sim 1,5$ кПа, переход в состояние течения с разрушенной структурой происходит при $F^* \sim 4,7$ кПа. При этом значение предела пластичности $K_i(I) = 1,27$ кПа и предела текучести $K_i(II) = 4,34$ кПа, соответственно. После извлечения образцов из формы они держат форму, но деформируются под действием собственного веса, однако структура сохраняет целостность, трещины не образуются. При приложении нагрузки система сохраняет целостность, но на торце образца сохраняются складки, образовавшиеся после извлечения образца из формы.

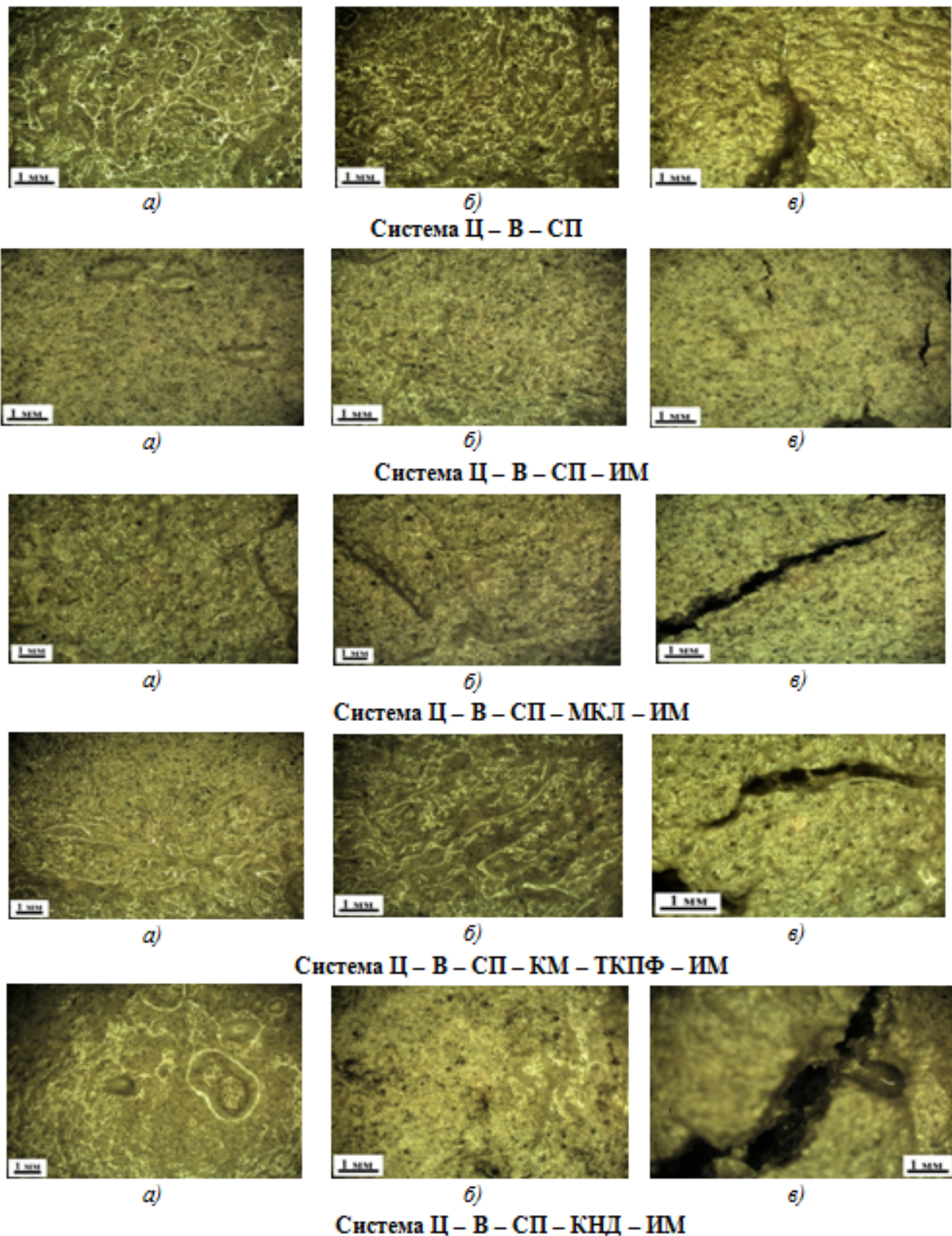


Рис. 2. Микрофотографии свежееотформованных образцов исследованных систем на известняковой муке (увеличение $\times 30$): а) $h = 1,89$ мм; б) $h = 2,39$ мм; в) $h = 5,89$ мм

При нагрузке $F^* = 2,23$ кПа наблюдается образование первой трещины, при значении абсолютной деформации 5,89 мм (относительная деформация $h_i/R \approx 0,77$) ширина раскрытия трещины составляет 0,23 мм.

Введение одновременно наполнителя и метакаолина увеличивает пластичность системы, т.к. метакаолин обладает родственной цементу кристаллохимической структурой. Однако агрегативная устойчивость снижается, ширина раскрытия трещин больше, чем у эталонной системы с известняковой мукой.

Для системы Ц – В – СП – КМ – ТКПФ – ИМ реологическое поведение отвечает третьему типу кривых. Величина нагрузки, соответствующая началу вязкопластического течения, составляет $\sim 1,0$ кПа, переход в состояние течения с разрушенной структурой происходит при $F^* \sim 3,53$ кПа. При этом значение предела пластичности $K_i(I) = 0,87$ кПа и предела текучести $K_i(II) = 3,06$ кПа, соответственно, что характеризует систему как пластичную, но неустойчивую. После извлечения образцов из формы они теряют устойчивость под действием собственного веса. Т.к. система очень пластичная, то при нагрузке до $F^* = 1$ кПа система сохраняет целостность и деформируется без образования трещин. При нагрузке $F^* = 1,68$ кПа наблюдается резкое образование трещин.

Для системы Ц – В – СП – КНД – ИМ реологическое поведение отвечает третьему типу кривых. Величина нагрузки, соответствующая началу вязкопластического течения, составляет $\sim 1,0$ кПа, переход в состояние течения с разрушенной структурой происходит при $F^* \sim 2,98$ кПа. При этом значение предела пластичности $K_i(I) = 0,85$ кПа и предела текучести $K_i(II) = 2,58$ кПа, соответственно. После извлечения образцов из формы они теряют устойчивость под действием собственного веса. Т.к. система очень пластичная, то при нагрузке до $F^* = 1$ кПа система сохраняет целостность и деформируется без образования трещин. При нагрузке $F^* = 1,62$ кПа, наблюдается образование трещин, при значении абсолютной деформации 5,89 мм (относительная деформация $h_i/R \approx 0,77$) ширина раскрытия трещины составляет 0,8 мм.

Согласно полученным результатам эксперимента можно заключить, что вид модификаторов вязкости влияет на пластичность и агрегативную устойчивость цементных смесей для 3D-печати. Введение модификаторов вязкости приводит к повышению текучести систем. По сравнению с эталонными системами без модификаторов вязкости при введении метакаолина $K_i(I)$ сни-

жается в 1,8-2 раза, при введении камеди и пирофосфата калия – в 2,0-2,5, КНД – почти в 3 раза. Системы с КНД характеризуются значениями $K_i(I) < 1,0$ кПа, что свидетельствует о необходимости снижать В/Ц данных систем. Начало трещинообразования для систем на известняковой муке с модификаторами МКЛ и КМ + ТКПФ соотносится с $h_i/R \approx 0,92$, что говорит об их низкой агрегативной устойчивости при сдавливании. Однако трещины характеризуются большей разветвленностью. Все системы с КНД обладают наименьшими значениями $K_i(I)$, но порог начала трещинообразования соотносится с $h_i/R \approx 0,77$.

*Оценка формоустойчивости при сдавливании
с постоянной скоростью нагружения*

Сдавливающий тест с постоянной скоростью нагружения для оценки потенциала сопротивления смесей деформированию и разрушению при возрастании нагрузки оценен для систем (рис. 3, табл. 3).

Таблица 3

Характеристики формоустойчивости смесей для 3D-печати

Состав системы	Формоустойчивость		
	σ_0 , кПа	σ_{pl} , кПа	Δ , мм/мм
Ц – В – СП	2,86	38,84	0,037
Ц – В – СП – МКЛ – ИМ	2,02	39,73	0,049
Ц – В – СП – КМ – ТКПФ – ИМ	2,3	36,57	0,048
Ц – В – СП – КНД – ИМ	0,86	42,36	0,133

В результате эксперимента установлено, что вид модификаторов вязкости влияет на формоустойчивость смесей для 3D-печати следующим образом.

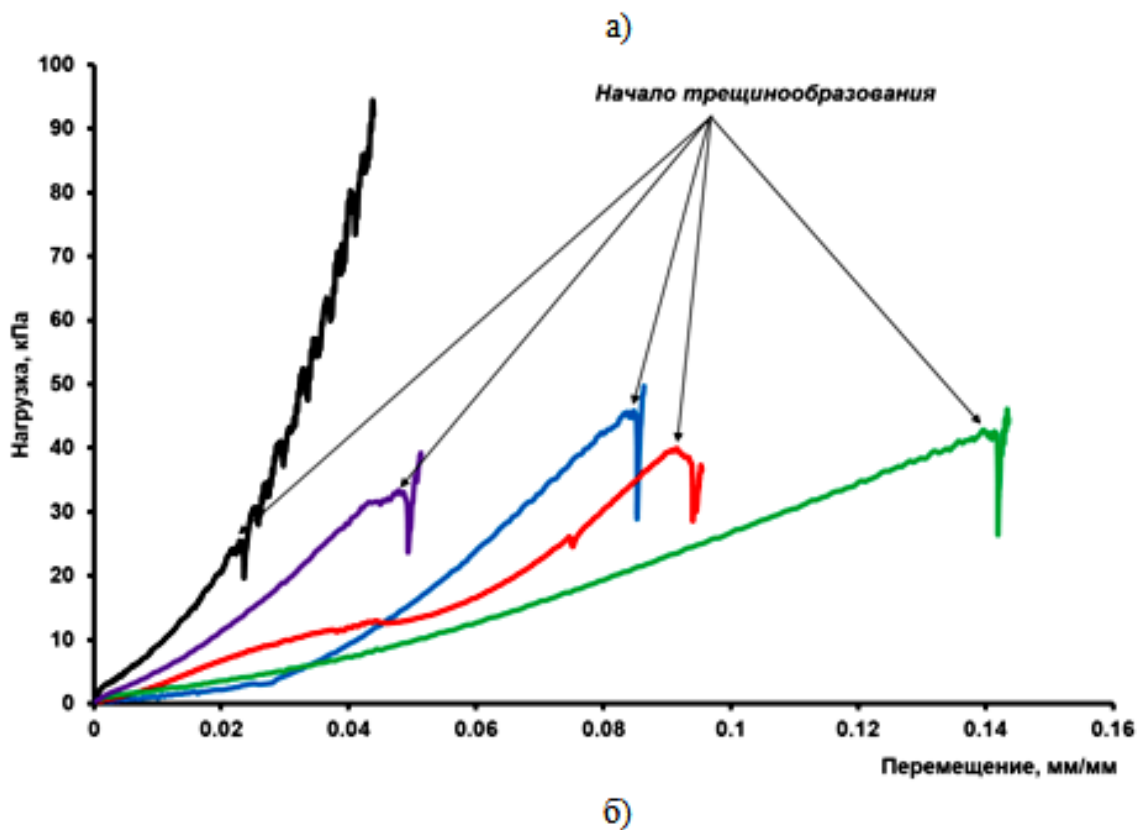
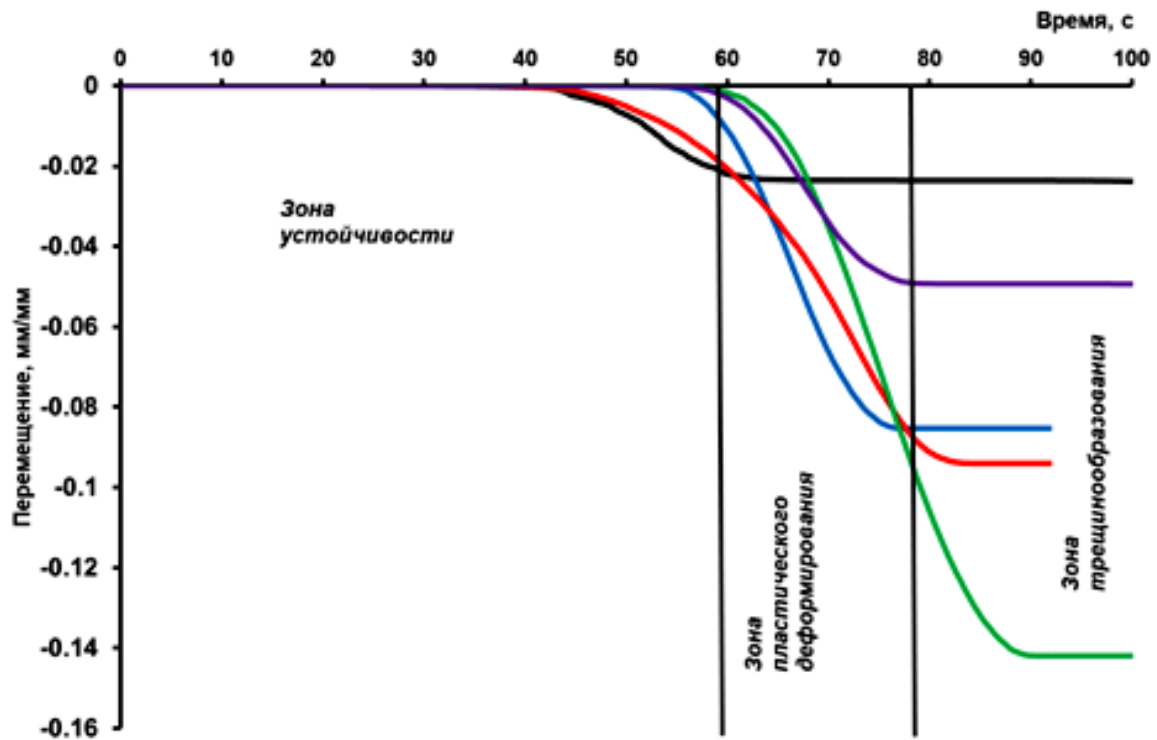


Рис. 3. Экспериментальные кривые для цементных систем с наполнителем известняковая мука: а) «перемещение Δ – время τ », б) «нагрузка σ – перемещение Δ ». Обозначено: — - Ц-В-СП; — - Ц-В-СП-ИМ; — - Ц-В-СП-ИМ-МКЛ; — - Ц-В-СП-ИМ-ТКПФ-КМ; — - Ц-В-СП-ИМ-КНД

Высокая структурная прочность $\sigma_0 = 2,0$ кПа и относительно низкие $\Delta_{пл} = 0,05$ мм/мм сохраняется для систем на известняковой муке Ц – В – СП – КМ – ТКПФ – ИМ и Ц – В – СП – МКЛ – ИМ. Все системы с КНД обладают наименьшими значениями структурной прочности $\sigma_0 = 0,8 - 1,5$ кПа и максимальной деформативностью $\Delta_{пл} = 0,057 - 0,133$ мм/мм.

*Влияние наполнителя и модификаторов вязкости
на характеристики пластичности, агрегативной устойчивости
структуры и формоустойчивости*

Влияние известняковой муки (распределение частиц по размерам является полифракционным $d = 1 - 55$ мкм) определяется высокой дисперсностью и кристаллохимическими особенностями строения, т.е. повышенным химическим сродством к компонентам цементной системы. При использовании известняковой муки удастся обеспечить наиболее рациональное соотношение характеристик пластичности и формоустойчивости $K_i(I) = 0,8 - 1,2$ кПа, $\sigma_0 \cong 4,5$ кПа, а пластической деформации $\Delta_{nl} < 0,035$ мм/мм.

Введение модификаторов вязкости наиболее существенно повышает пластичность систем и формоустойчивость смесей.

Так, в системах на известняковой муке введение МКЛ и КМ + ТКПФ приводит к снижению $K_i(I)$ в 2 – 2,5 раза, КНД – в 3 – 4 раза, по сравнению с эталонными системами без модификаторов. Отметим также, что во всех системах с модификаторами величина a/F оказывается на порядок выше, чем в эталонных системах. Использование модификаторов вязкости значительно влияет на повышение структурной прочности и снижение деформативности смесей на известняковой муке: при введении МКЛ σ_0 повышается в 3,5 – 4 раза, Δ_{nl} снижается 2,5 – 3 раза; при введении КМ + ТКПФ σ_0 повышается в 2 – 2,5 раза, Δ_{nl} снижается 1,5 – 2 раза. Смеси с КНД отличаются наименьшей формоустойчивостью из всех исследованных систем. Структурная прочность систем с КНД в 3 – 4 раза ниже, чем в системах с МКЛ и с комплексным модификатором КМ + ТКПФ, а пластические деформации данных систем достигают значений $\Delta_{nl} \cong 0,12 - 0,13$ мм/мм.

В результате при оптимизированных дозировках СП и значениях В/Ц системы с метакаолином и КМ + ТКПФ имеют рациональное соотношений показателей пластичности и формоустойчивости: $K_i(I) = 1,0 - 2,5$ кПа, $\sigma_0 \cong 3,5 - 4,7$ кПа и $\Delta_{nl} \cong 0,035$ мм/мм. При использовании КНД не удается обеспечить рациональное соотношение показателей пластичности и формоустойчивости цементной смеси, они обладают повышенной текучестью и низкой структурной прочностью при нагружении (табл. 4).

Таблица 4

Характеристики пластичности, агрегативной устойчивости структуры и формоустойчивости цементных смесей для 3D-печати при сдавливании

Состав системы		Ц-В-СП	Ц-В-СП-ИМ	Ц-В-СП-МКЛ-ИМ	Ц-В-СП-КМ-ТКПФ-ИМ	Ц-В-СП-КНД-ИМ
Показатели пластичности и агрегативной устойчивости структуры	Предел ползучести $K_i(I)$, кПа	2,14	2,29	1,27	0,87	0,85
	Ширина тр. при $h_i/R \approx 0,77$, мм	0,83	0,1	0,23	0,29	0,8
	Начало трещинообразования h_i/R	0,77	0,77	0,92	0,91	0,77
	Нагрузка F при $h_i/R \approx 0,77$, кПа	6,05	3,98	2,23	2,01	1,62
	Отношение ширины трещины к нагрузке a/F , м/кПа	0,14	0,03	0,10	0,09	0,49
Показатели формоустойчивости	σ_0 , кПа	2,86		2,02	2,30	0,86
	Δ , мм/мм	0,037		0,049	0,048	0,133

Заключение. Сравнение реологического поведения модифицированных цементных смесей позволяет утверждать, что именно введение модификаторов вязкости позволяет регулировать их реологические и структурно-механические свойства в широком диапазоне. Использование метакаолина, комплексного модификатора на основе камеди и пирофосфата калия позволяет повысить пластичность цементных смесей (см. рис. 1), и одновременно обеспечивает их высокую структурную устойчивость при действии нагрузки.

На основании полученных данных рациональными для обеспечения оптимального сочетания пластичности, агрегативной устойчивости, формоустойчивости цементных смесей для 3D-печати следует считать использование сме-

сей на основе известняковой муки (дозировка 100 % от массы цемента). Для получения оптимальных значений всего комплекса реологических характеристик рациональными являются дозировки СП = 1,2 %, МКЛ = 2 %, КМ = 0,2 %, ТКПФ = 0,2% от массы цемента. При этом следует жестко регулировать значения В/Ц для каждой конкретной системы.

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00280, <https://rscf.ru/project/22-19-00280/>».

Экспериментальные исследования проводились с использованием оборудования ЦКП имени проф. Ю.М. Борисова ВГТУ при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект № 075-15-2021-662.

Список литературы

1. Mechtcherine V. et al. Extrusion-based additive manufacturing with cement-based materials – Production steps, processes, and their underlying physics : A review // *Cement and Concrete Research*. 2020. Vol. 132. P. 106037. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106037>.
2. Asprone D., Auricchio F., Menna C., et al. 3D printing of reinforced concrete elements: Technology and design approach // *J. Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 165. P. 218-231.
3. Kazemian A., Xiao Yuan, Cochran Evan, et al. Cementitious materials for construction-scale 3D printing: Laboratory testing of fresh printing mixture // *J. Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 145. P. 639-647.
4. Lu Bing, Weng Yiwei, Li Mingyang, et al. A systematical review of 3D printable cementitious materials // *J. Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 207. P.477-490.
5. Славчева Г.С., Бабенко Д.С., Шведова М.А. Анализ и критериальная оценка реологического поведения смесей для строительной 3D-печати // *Строительные материалы*. 2018. № 12. С. 34-40.

6. Slavcheva G.S., Artamonova O.V. Rheological behavior of 3D printable cement paste: criterial evaluation // Magazine of Civil Engineering. 2018.Vol.84(8). P. 97-108.
7. Артамонова О.В. Синтез наномодифицирующих добавок для технологии строительных композитов: монография. Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2016. 100 с.
8. Artamonova O.V., Slavcheva G.S., Chernyshov E.M. Effectiveness of combined nanoadditives for cement systems // Inorganic Materials. 2017. Vol. 53. No 10. P. 1080-1085.
9. Russel N., Lanos C. Plastic Fluid Flow Parameters Identification Using a Simple Squeezing Test // Applied Rheology. 2003. Vol. 13(3). P. 3-5.
10. Perrot Arnaud and Sofiane Amziane 3D Printing in Concrete: General Considerations and Technologies // 3D Printing of Concrete. 2019. n. pag.

References

1. Mechtcherine V. et al. Extrusion-based additive manufacturing with cement-based materials – Production steps , processes , and their underlying physics : A review // Cement and Concrete Research. 2020. Vol. 132. P. 106037.<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106037>.
2. Asprone D., Auricchio F., Menna C., et al. 3D printing of reinforced concrete elements: Technology and design approach // J. Construction and Building Materials. 2018.Vol. 165. P. 218-231.
3. Kazemian A., Xiao Yuan, Cochran Evan, et al. Cementitious materials for construction-scale 3D printing: Laboratory testing of fresh printing mixture // J. Construction and Building Materials. 2017. Vol. 145. P. 639-647.
4. Lu Bing, Weng Yiwei, Li Mingyang, et al. A systematical review of 3D printable cementitious materials // J. Construction and Building Materials. 2019. Vol. 207. P. 477-490.

5. Slavcheva G.S., Shvedova M.A., Babenko D.S. Analysis and criteria assessment of rheological behavior of mixes for construction 3-D printing // *Stroitel'nye Materialy*. 2018. No. 12. P. 34-40. (in Russian).
6. Slavcheva G.S., Artamonova O.V. Rheological behavior of 3D printable cement paste: criterial evaluation // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. Vol. 84(8). P. 97-108.
7. Artamonova O.V. Sintez nanomodificiruyushchih dobavok dlya tekhnologii stroitel'nyh kompozitov [Synthesis of nanomodifying additives for building composites technology]. Voronezh, Voronezhskij GASU, 2016. 100 p. (in Russian).
8. Artamonova O.V., Slavcheva G.S., Chernyshov E.M. Effectiveness of combined nanoadditives for cement systems // *Inorganic Materials*. 2017. Vol. 53. No 10. P. 1080-1085.
9. Russel N., Lanos C. Plastic Fluid Flow Parameters Identification Using a Simple Squeezing Test // *Applied Rheology*. 2003. Vol. 13(3). P. 3-5.
10. Perrot Arnaud and Sofiane Amziane 3D Printing in Concrete: General Considerations and Technologies // *3D Printing of Concrete*. 2019. n. pag.

Славчева Галина Станиславовна – д-р техн. наук, профессор кафедры строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного технического университета
Артамонова Ольга Владимировна – д-р техн. наук, профессор кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета
Шведова Мария Александровна – ассистент кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета
Бабенко Дмитрий Сергеевич – инженер Высшей школы строительного материаловедения Воронежского государственного технического университета

УДК 691.32

К ВОПРОСАМ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА МАЛЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ ИЗ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА

Н.А. Белькова, Т.А. Яценко, В.А. Бражникова*

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

**Адрес для переписки: Белькова Наталья Анатольевна,*

E-mail: verlnata@mail.ru

В статье рассматриваются составы для изготовления малых архитектурных форм – модифицированных мелкозернистых бетонов. Основными критериями оптимизации таких смесей является достижение относительно больших показателей прочности бетона при сжатии и изгибе и обеспечение возможности формования изделий сложной геометрии. Для реализации заданного уровня критериев оптимизации (прочности) предлагается использовать дисперсное армирование мелкозернистых смесей с помощью фиброволокна полиэфирного длиной 12 мм в количестве 2...3 кг/м³. Заданная формуемость смеси достигается путем введения добавки-пластификатора «Реламикс М» в количестве 0,5...0,8 %.

Ключевые слова: дисперсно-армированные бетоны, полиэфирное волокно, прочность при сжатии и изгибе, добавки-пластификаторы

TO IMPROVING THE QUALITY OF SMALL ARCHITECTURAL FORMS OF FINE-GRAINED CONCRETE

N.A. Belkova, T.A. Yashchenko, V.A. Brazhnikova*

*Voronezh State Technical University,
Russian Federation, 394006, Voronezh, ul. 20-letiya Octyabrya, 84*

**Corresponding author: Belkova Natalya Anatolyevna, E-mail: verlnata@mail.ru*

The article considers compositions for the manufacture of small architectural forms - modified fine-grained concretes. The main criteria for optimizing such concrete is to achieve relatively high concrete strength in compression and bending and to ensure the possibility of forming products of complex geometry. To implement the specified level of optimization criteria (strength), it is proposed to use dispersed reinforcement of fine-grained mixtures using polyester fiber with a length of 12 mm in an amount of 2... 3 kg/m³. The preset moldability of the mixture is achieved by adding a plasticizer additive «Relamix M» in an amount of 0.5... 0.8%.

Keywords: *dispersed reinforced concretes, polyester fiber, compression and bending strength, pre-binder plasticizers*

Введение. Объектом настоящих исследований являются, так называемые, малые архитектурные формы (МАФ), которые применяются для благоустройства улиц, парков, скверов. К ним предъявляются достаточно высокие требования по показателям прочности на сжатие и растяжение, морозостойкости, трещиностойкости. Помимо этого, МАФ должны обладать определенной художественной выразительностью, особенно во внешнем виде. Для обеспечения как качества формования, так и итоговых свойств таких изделий, чаще всего, используется мелкозернистый бетон.

Многочисленные исследования, в том числе и наши, [1-9] показывают возможность улучшения многих показателей путем введения в бетон фиброволокна различного происхождения. Дисперсное армирование как тяжелого, так и мелкозернистого бетонов повышает показатели трещиностойкости, прочности при растяжении и изгибе, позволяет сократить рабочие сечения конструкций, то есть, создаются условия для снижения материалоемкости и трудоемкости строительной продукции, расширения ее номенклатуры, повышения архитектурно-художественной выразительности [10, 11].

Для дисперсного армирования применяют волокна различного вида: стальные, минеральные, полимерные и другие. Наиболее широкое распростра-

нение получило базальтовое фиброволокно [1, 12], однако при длительном воздействии на него щелочной среды цементного камня происходит частичное растворение волокон и снижение их армирующего эффекта. Нашими исследованиями [13] показано, что альтернативой базальтовому волокну являются полимерные волокна различного типа, в частности полипропиленовое и т.п.

Помимо улучшения основных физико-механических свойств бетонов, одной из основных задач оптимизации смеси для производства МАФ, является снижение расхода матричной составляющей мелкозернистого бетона и улучшение их формуемости. Основным способом решения этих задач является уменьшение водопотребности бетонной смеси путем модифицирования добавками-пластификаторами.

Эффективность действия добавок - пластификаторов зависит от их химического и вещественного составов. Введение добавок-пластификаторов в бетонные смеси улучшает не только их формуемость, но и повышает прочность полученного бетона, что является основанием для сокращения расхода цемента [14, 15]. Так, исследованиями [15] установлено, что при введении в смесь суперпластификаторов «ПОЛИПЛАСТ СП-4» был получен наибольший пластифицирующий эффект, определяемый по расплыву стандартного конуса, который составляет 159 мм, когда эталон (без добавки) показывает всего 107 мм. Наибольшую прочность на сжатие имеют составы, в которые входят суперпластификаторы Sika Visco Crete 5-800 и «ПОЛИПЛАСТ СП-4».

В целом, на основании анализа литературных данных можно сказать, что для каждого конкретного случая необходимо осуществлять исследования по подбору состава бетона.

Экспериментальная часть. Целью данных исследований является оптимизация состава мелкозернистого фибробетона для изготовления МАФ.

В работе использовали следующие сырьевые материалы: портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н (ГОСТ 31108-2020), песок с модулем крупности 1,9-2,2 Тамбовского песчаного карьера (ООО ДСО «Калачеевская»). В качестве арми-

рующего добавки использовалось фиброволокно марки Fibra №1 (изготовитель ООО «ИНКОМСТРОЙ») с характеристиками, приведенными в таблице.

Характеристикиполиэфирного фиброволокна

Показатели свойств	Значение свойств
Толщина волокон, мкм	6-9
Прочность на разрыв, МПа	3200-3500
Модуль упругости, МПа	58000-63000
Удлинение, %	30-34
Плотность, г/см ³	1,36-1,38
Стойкость к щелочной среде бетона	очень высокая
Температура плавления, °С	300
Длина волокна, мм	6; 12

В качестве пластификаторов использовались две добавки: «ПФМ-НЛК» и «Реопласт МС».

Состав бетона принят в соответствии с нормативными документами для класса по прочности на сжатие В25. На первом этапе определялся оптимальный расход фиброволокна, критериями оптимальности являлись прочность бетона при сжатии и изгибе. Расход фиброволокна варьировался от 1 до 5 кг на 1 м³ смеси с шагом 1 кг. Образцы для испытания изготавливались согласно требованиям ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам». На втором этапе для бетона с оптимальным расходом фиброволокна исследовалось влияние вида и расхода добавок-пластификаторов на водопотребность смеси и показатели прочности при сжатии и изгибе.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе исследований проводилась оптимизация состава бетона по параметру расхода фиброволокна в зависимости от его длины. На рис. 1 представлены зависимости прочности при сжатии и изгибе от расхода и длины фиброволокна.

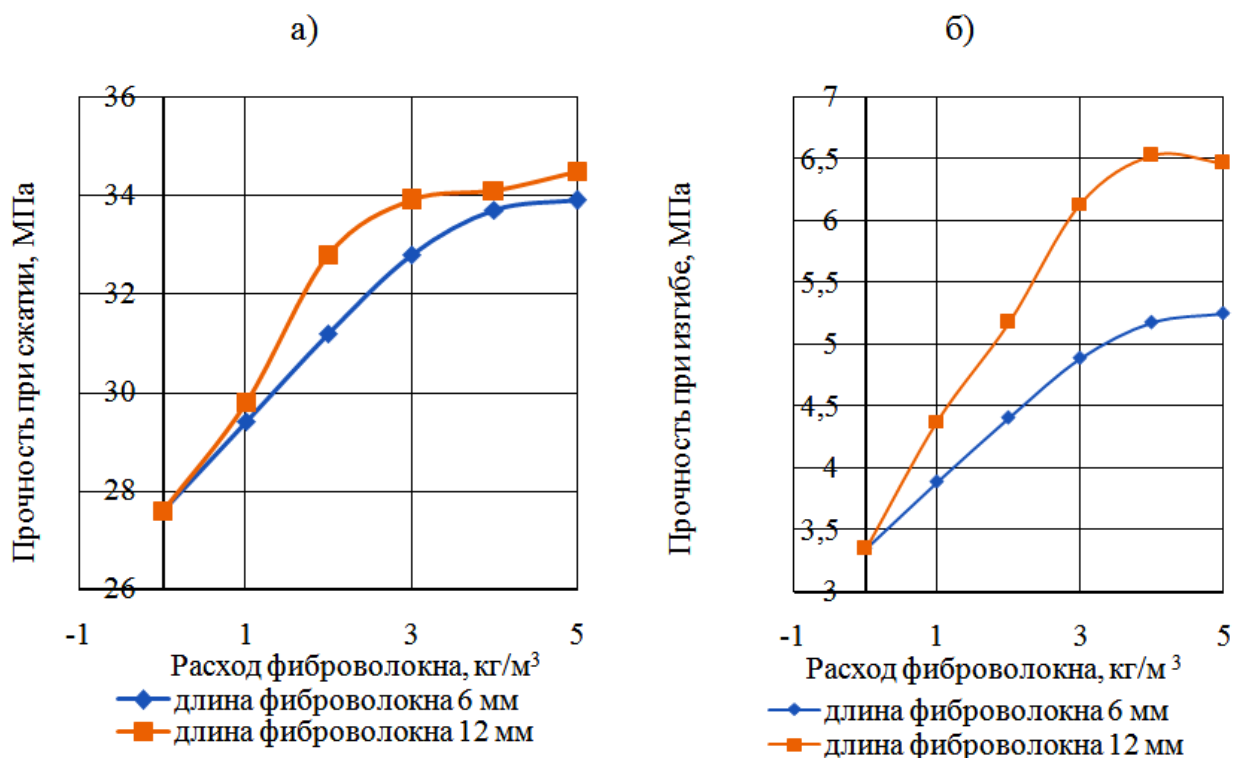


Рис. 1. Зависимости прочности при сжатии (а) и изгибе (б) от вида, длины и расхода фиброволокна

Повышение расхода полиэфирного фиброволокна приводит к относительно небольшому повышению прочности при сжатии: с 27,5 до 34 МПа. Длина фиброволокна практически не влияет на этот показатель. При этом можно сказать, что произошло повышение класса бетона с В25 до В30. Наиболее значительные результаты получены для показателя прочности при изгибе. Введение полиэфирного волокна длиной 6 мм приводит к увеличению значения прочности при изгибе с 3,35 до 5,25 МПа (то есть на 55 %). Для фиброволокна длиной 12 мм это увеличение более значительное: до 6,5 МПа (почти в два раза). При этом наибольший прирост прочности при изгибе наблюдается в пределах расхода волокна до 3 кг/м³ не зависимо от его длины. Дальнейшее увеличение расхода фиброволокна практически не влияет на значения прочности при изгибе. Так для фиброволокна длиной 12 мм прирост составил всего 10 % (с 6,15 до 6,55 МПа).

Таким образом, можно сказать, что оптимальные расходы полиэфирного волокна находятся в пределах 2...3 кг/м³ при длине 12 мм.

На втором этапе исследований проводилась оценка влияния вида и расхода добавок-пластификаторов на водоредуцирующий эффект и свойства фибробетона. Расход фиброволокна принят 2 кг/м^3 смеси.

На рис. 2 представлены результаты оценки водоредуцирующего эффекта действия добавок-пластификаторов.

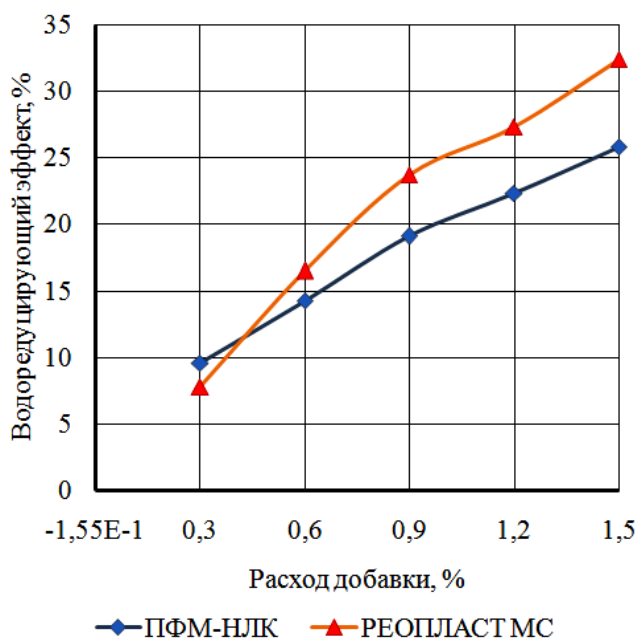


Рис. 2. Изменение величины водоредуцирующего эффекта в зависимости от вида и расхода добавок-пластификаторов

Как видно по полученным данным, увеличение расхода добавок-пластификаторов приводит к увеличению значений водоредуцирующего эффекта. При этом наибольшее снижение расхода воды получено для добавки РЕОПЛАСТ МС: величина водоредуцирующего эффекта составила 33 % при расходе 1,5 % от массы цемента. Для добавки ПФМ-НЛК при таком же расходе он составил 25 %, что на 30 % меньше по сравнению с добавкой РЕОПЛАСТ МС. Что касается влияния расхода добавок, то в пределах дозировок от 0,3 до 0,9 % от массы цемента не зависимо от вида добавки наблюдалось значительное повышение величины водоредуцирующего эффекта: с 8...9 (для дозировки 0,3 %) до 19...24 % (для дозировки 0,9 %), то есть в 2-3 раза. Дальнейшее повышение дозировки добавок оказывает уже меньшее влияние на снижение рас-

хода воды: величина водоредуцирующего эффекта повышается с 19...24 до 26...33 % (для максимальной дозировки), то есть всего на 20...30 % (относительно дозировки 0,9 %). То есть происходит пересыщение системы добавками-пластификаторами, образование молекулами добавок конгломератов – мицелл, вследствие чего и происходит снижение эффективности действия добавок.

Далее проводились исследования влияния вида и расхода добавок на показатели прочности при сжатии и изгибе (рис. 3).

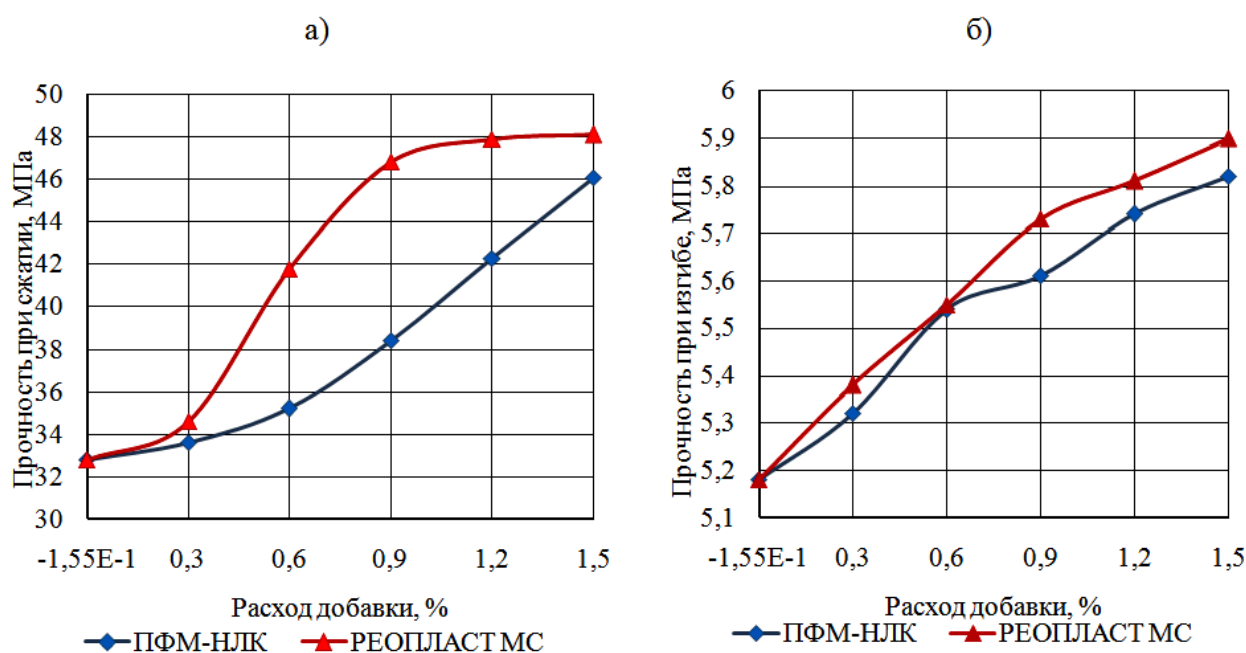


Рис. 3. Зависимости прочности при сжатии (а) и изгибе (б) от вида и расхода добавки-пластификатора

Как видно по полученным данным, введение добавок-пластификаторов приводит к значительному повышению показателя прочности при сжатии (до 50 %). При этом введение добавки РЕОПЛАСТ МС в относительно небольших дозировках (до 0,9 %) приводит к большему росту прочности при сжатии: с 32,8 МПа (для эталонного состава без добавки) до 46,8 МПа (для состава с дозировкой 0,9 %). Дальнейшее повышение дозировок добавки РЕОПЛАСТ МС практически не влияет на показатель прочности при сжатии (увеличение происходит с 46,8 МПа до 48,1 МПа). То есть опять наблюдается достижение точки ККМ и снижение эффекта действия добавки ПАВ.

Увеличение дозировки добавки ПФМ-НЛК приводит к постепенному равномерному повышению прочности при сжатии (с 32,8 МПа до 46,1 МПа). Для показателя прочности при изгибе увеличение расхода добавок-пластификаторов до 0,9 % от массы цемента (не зависимо от вида) приводит к постепенному росту этого показателя (с 5,18 до 5,6...5,7 МПа). При увеличении дозировок добавок с 0,9 до 1,5 % прочность при изгибе увеличивается с 5,6 до 5,8...5,9 МПа (то есть всего на 5 %). Итак, оптимальный вид добавки-пластификатора является РЕОПЛАСТ МС при дозировке 0,6...0,9 % от массы цемента.

Заключение. Из полученных данных следует, что введение фиброволокна любой длины повышает прочностные показатели бетона. При этом прочность при сжатии увеличивается всего на 20 – 30 %, а прочность при изгибе в почти в 2 раза. Это можно объяснить армирующим действием волокон, которые создают объемную сетку в структуре бетона и препятствуют распространению трещин.

Для дальнейшего использования можно рекомендовать состав мелкозернистого бетона, содержащий полиэфирное фиброволокно длиной 12 мм в количестве 2...3 кг/м³ и добавку-пластификатор РЕОПЛАСТ МС в количестве 0,6-0,9 % от массы цемента.

Экспериментальные исследования проводились с использованием специализированного оборудования Центра коллективного пользования им. профессора Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета.

Список литературы

1. Ключев С. В., Лесовик Р. В., Калашников Н.В., Казлитина О.В., Нетребенко А. В., Митрохин А.А. Комбинированное дисперсное армирование мелкозернистого бетона на техногенном сырье и нанодисперсном модификаторе // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №3. С. 47-52.

2. Белькова Н.А., Крюков Э.И., Ткачева Д.А. Разработка составов фибробетона для устройства полов и стяжек // Химия, физика и механика материалов. 2019. № 3 (22). С. 4-13.

3. Кострикин М.П. Эффективность дисперсного полиармирования бетона низко модульными волокнами // Вестник гражданских инженеров. 2011. №2 (85). С. 128-133.

4. Клюев С.В., Лесовик В.С., Клюев С.В., Бондоренко Д.О. К вопросу применения нескольких видов фибр для дисперсно-армированных бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 4. С. 81-83.

5. Лесовик В.С., Агеева М.С., Денисова Ю.В., Иванов А.В. Использование композиционных вяжущих для повышения долговечности брусчатки бетонной // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. №4. С. 52-54.

6. Перфилов В.А., Чуканов Г.А., Калачев А.В. Фибробетонные композиции для напольных покрытий при строительстве производственных и гражданских сооружений // Инженерный вестник Дона. №11. 2021. [Электронный ресурс] [http:// www. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2021/7277](http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2021/7277) (дата обращения 25.05.2022 г.).

7. Кострикин М.П. Характер и степень взаимодействия синтетической макрофибры с цементным камнем // Вестник гражданский инженеров. 2018. № 4 (69). С. 116-120.

8. Маилян Л.Р., Айвазян Э.С. Расчетная оценка прочностных и деформативных характеристик и диаграмм деформирования фибробетонов с агрегированным распределением волокон // Инженерный вестник Дона. 2013. № 3 (26). 27 с.

9. Коротких Д.Н. Принципы формирования структуры и прогнозирование прочности фибробетонов // Вестник гражданских инженеров. 2009, №3 (20). С. 126-128.

10. Velde K., Kiekens P., Van Langenhove, L. Basalt fibers as reinforcement for composites // Van de Department of Textiles, Ghent University, Technologiepark 907. B-9052 Zwijnaarde.

11. Ключев С.В., Лесовик Р.В. Дисперсноармированный мелкозернистый бетон с использованием полипропиленового волокна // Бетон и железобетон. 2011. № 3. С. 7-9.

12. Бабаев В.Б., Строкова В.В., Нелюбова В.В., Савгир Н.Л. К вопросу о щелочестойкости базальтовой фибры в цементной системе // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013, №2. С. 63-66.

13. Шмитько Е.И., Румянцева В.Е., Белькова Н.А. Разработка возможностей повышения качества полов для зданий текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2020. № 6 (390). С. 62-67.

14. Перфилов В.А., Зубова М.О. Влияние суперпластификаторов на свойства фибробетонов // Интернет-вестник Волг ГАСУ. 2015. № 1 (37). 11с.

15. Перфилов В.А., Котляревская А.В., Канавец У.В. Влияние микроармирующих волокон и пластифицирующих добавок на свойства мелкозернистых бетонов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительствоиархитектура. 2016. № 44-2 (63). С. 111-118.

References

1. Klyuev S.V., Lesovik R.V., Kalashnikov N.V., Kazlitina O.V., Netrobenko A.V., Mitrokhin A.A. Combined dispersed reinforcement of fine-grained be-ton on technogenic raw materials and nanodisperse modifier//Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2014. №3. P. 47-52.

2. Belkova N.A., Kryukov E.I., Tkacheva D.A. Development of fiber concrete compositions for the construction of floors and ties//Chemistry, physics and mechanics of materials. 2019. № 3 (22). P. 4-13.

3. Kostrikin M.P. Efficiency of dispersed polishing of concrete with low-modular fibers//Bulletin of Civil Engineers. 2011. №2 (85). P. 128-133.

4. Klyuev S.V., Lesovik V.S., Klyuev S.V., Bondorenko D.O. On the issue of using several types of fibers for dispersed reinforced concrete//Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhova. 2012. № 4. P. 81-83.

5. Lesovik V.S., Ageeva M.S., Denisova Yu.V., Ivanov A.V. Use of compositional binders to increase the durability of concrete paving stones//Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhova. 2011. №4. P. 52-54.

6. Perfilov V.A., Chukanov G.A., Kalachev A.V., Fiber concrete compositions for floor coatings during the construction of industrial and civil coorumations//Engineering Bulletin of the Don. №11. 2021. [Electronic Resource] [http://www.ivdon.ru/ru/magazine/ archive/n11y2021/7277](http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2021/7277) (accessed 25.05.2022).

7. Kostrikin M.P. Character and degree of interaction of synthetic macrofibre with cement stone//Bulletin of Civil Engineers. 2018. № 4 (69). P. 116-120.

8. Mayilyan L.R., Ayvazyan E.S. Estimated evaluation of strength and deformation characteristics and deformation diagrams of fibrobetons with aggregated distribution of fibers//Engineering Bulletin of Don. 2013. № 3 (26). 27 p.

9. Short D.N. Principles of structure formation and prediction of solid fiber concrete//Bulletin of Civil Engineers. 2009, №3 (20). P. 126-128.

10. Velde K., Kiekens P., Van Langenhove L. Basalt fibers as reinforcement for composites // Van de Department of Textiles, Ghent University, Technologiepark 907. B-9052 Zwijnaarde.

11. Klyuev S.V., Lesovik R.V. Dispersed reinforced fine concrete using polypropylene fiber//Concrete and reinforced concrete. 2011. № 3. P. 7-9.

12. Babaev V.B., Strokova V.V., Nelyubova V.V., Savgir N.L. On the question of alkaline resistance of basalt fiber in the cement system//Bulletin of the Belgorod State University of Technology named after V.G. Shukhova. 2013, №2. P. 63-66.

13. Shmitko E.I., Rummyantseva V.E., Belkova N.A. Development of floor quality embroidery capabilities for textile industry buildings//Izvestia of higher educational institutions. Textile industry technology. 2020. № 6 (390). P. 62-67.

14. Perfilov V.A., Zubova M.O. Influence of superplasticizers on the properties of fibrobetons//VolgGASU Internet Bulletin. 2015. № 1 (37). 11 p.

15. Perfilov V.A., Kotlyarevskaya A.V., Kanavets U.V. The influence of micro-reinforcing fibers and plasticizing additives on the properties of fine-grained concrete//Bulletin of the Volgograd State Architectural and Construction University-set. Series: Construction and Architecture. 2016. № 44-2 (63). P. 111-118.

Белькова Наталья Анатольевна – канд. техн. наук, доцент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного технического университета

Яценко Татьяна Алексеевна – студент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного технического университета

Бражникова Валерия Александровна – студент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного технического университета

ЭКОЛОГИЯ

УДК 620.187:666.9

**ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ БОРЬБЫ С ЗИМНЕЙ
СКОЛЬЗКОСТЬЮ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ**

А.О. Степанова, О.В. Артамонова*

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

**Адрес для переписки: Степанова Александра Олеговна,*

E-mail: astepanova@vgasu.vrn.ru

В работе рассмотрены несколько основных современных методов борьбы, с зимней скользкостью используемых на дорогах России и за рубежом. К ним относятся химический, фрикционный, комбинированный, конструкционный, тепловой методы борьбы со скользкостью, а также система информирования о погодных условиях или погодного мониторинга. В настоящем учет накопленного практического опыта организации зимнего содержания дорог в зарубежных странах позволяет эффективно развивать системы погодного мониторинга на автомобильных дорогах России.

Ключевые слова: методы борьбы с зимней скользкостью, противогололедные добавки, фрикционные материалы, погодный мониторинг

**REVIEW OF MODERN METHODS TO COMBAT WINTER SLIPPERITY
IN RUSSIA AND ABROAD**

A.O. Stepanova, O.V. Artamonova*

**Corresponding author: Stepanova Aleksandra Olegovna,*

E-mail: astepanova@vgasu.vrn.ru

The paper considers several basic modern methods of combating winter slipperiness used on the roads of Russia and abroad. These include chemical, combined, structural, frictional, thermal methods of combating slipperiness, as well as a system for informing about weather conditions or weather monitoring. At present, taking into account the accumulated practical experience in organizing winter road maintenance in foreign countries, it is possible to effectively develop weather monitoring systems on Russian highways.

Keywords: *methods for combating winter slipperiness, anti-icing additives, friction materials, weather monitoring*

Введение. На сегодняшний день известно несколько современных способов обработки дорожных одежд, их можно разделить по принципу своего действия: химические, фрикционные, комбинированные, конструкционные, тепловые (табл. 1 [1]).

Химические и комбинированные методы борьбы с зимней скользкостью

В России наиболее распространенным является комбинированный метод борьбы с зимней скользкостью (используют песко-соляная смесь, в которую входят химические реагенты, в нормативных документах он назван химическим), с целью сокращения затрат и повышения эффективности зимнего содержания дорог. Основными применяемыми химическими антигололедными реагентами являются хлориды, нитраты, ацетаты, формиаты, а также смеси органических веществ.

На сегодняшний день различными авторами были изучены [1] зависимости температуры замерзания некоторых базовых составов для прогнозирования

свойств систем с низкими температурами замерзания. В табл. 2, 3 приведены экспериментальные данные, которые показывают, что температуры замерзания базовых растворов резко повышаются с разбавлением их водой.

Таблица 1

Характеристика основных методов борьбы с зимней скользкостью

Способ	Период распределения	Температура применения	Результативность использования	Преимущество	Отрицательные характеристики
Химический	До, в период или после образования гололеда	До -12°C	Высокая эффективность	Большая плавающая способность, минимальная норма расхода, обработка участка крупной площадью	Дорогая стоимость материала, ограничения условий использования (по интенсивности движения, температуре)
Комбинированный	В период или после образования гололеда	Нет ограничений	Средняя эффективность	Доступность, увеличение коэффициента сцепления, многократное использование	Более высокие требования к качеству материала, нарушение технологии резко понижает условия движения
Фрикционный	После образования гололеда	Нет ограничений	Средняя эффективность	Простота обработки, низкая цена материала, моментальное повышение коэффициента сцепления	Использование большого количества распределителей
Конструкционный	При устройстве покрытия из ПГМ-гидрофобизаторов (до наступления мороза)	До -7°C	Средняя эффективность	Уменьшение затрат на ликвидацию гололеда на проезжей части за счет введения ПГМ в состав покрытия	Значительное снижение межремонтных сроков службы покрытия
Тепловой	В период или после образования гололеда	Нет ограничений	Высокая эффективность	Высокая плавающая способность, многократное использование	Высокий расход топлива

Зависимость температуры замерзания некоторых базовых неорганических добавок от их концентрации

Система	Содержание компонента			Температура замерзания, °С
Неорганические добавки				
CaCl ₂ -H ₂ O	CaCl ₂ , г/100 г H ₂ O			-31
	34,6			
	36,2			
MgCl ₂ -H ₂ O	MgCl ₂ , г/100 г H ₂ O			-32
	25,2			
	25,9			
(CH ₃ COOK-H ₂ O)	Соль, г/100 г H ₂ O			-29
	40,0			
CaCl ₂ MgCl ₂ -H ₂ O	Раствор, вода, мас. %			
	CaCl ₂	MgCl ₂	H ₂ O	
	12,10	12,1	75,80	
	20,37	6,87	72,82	
	19,10	6,46	74,41	
	21,34	1,75	73,91	
	12,20	12,20	75,60	
	19,20	6,40	74,40	
	25,00	1,60	73,40	
	12,70	12,70	64,60	
CaCl ₂ -MgCl ₂ -NaCl-H ₂ O	Раствор, вода, мас. %			
	CaCl ₂	MgCl ₂	NaCl	H ₂ O
	11,15	11,15	1,85	78,85
	11,36	11,36	1,25	46,02
11,95	11,95	1,32	74,78	
CaCl ₂ -NaCl-H ₂ O	Раствор, вода, мас. %			
	CaCl ₂	NaCl	H ₂ O	
	23,72	4,00	72,28	
	24,20	1,00	74,80	
	23,80	1,80	74,40	
	22,00	3,80	74,20	
	25,60	1,80	72,60	
	26,25	2,19	71,56	
27,20	1,00	71,80		

Стоит отметить, что в расчете на сухое вещество массовые соотношения компонентов остаются постоянными.

Из представленных данных можно сделать вывод, что наиболее эффективными для использования в качестве антигололедных средств длительного действия являются составы с 85-90 масс. % воды.

Зависимость температуры замерзания некоторых базовых органических добавок от их концентрации

Система	Содержание компонента			Температура замерзания, °С
Органические добавки				
$(C_2H_5OH-H_2O)$	Спирт, мас. %			-34
	46,3			
	56,1			
$C_3H_5(OH)_3-H_2O$	Глицерин, мас. %			-35
	60,0			
	70,0			
$(CH_3COOK-CH_2OH-CHON-CH_2OH-H_2O)$	Раствор, вода, мас. %			-34
	CH_3COOK	$CH_2OH-CHON-CH_2OH$	H_2O	
	35	15	50	
	40	10	50	
$[(CH_3)_2CHON-CH_2OH-CHON-CH_2OH-H_2O]$	Раствор, вода, мас. %			-33
	$(CH_3)_2CHON$	$CH_2OH-CHON-CH_2OH$	H_2O	
	30	30	40	

В работе [2], авторы рассматривают основные способы борьбы с гололедом в Соединенных Штатах Америки. На дорогах с интенсивным движением применяют преимущественно химические противогололедные добавки, а на дорогах с небольшой интенсивностью – фрикционные материалы. Существует два подхода к формированию противогололедных покрытий: например, распределение солей различных хлоридов в асфальтобетонную смесь, как следствие лед на поверхности тает под действием хлоридов или модифицированием асфальтобетонной смеси эластичными материалами (резиновой крошки).

После научных исследований [3, 7] западноевропейские страны отказываются от использования химических реагентов для плавления снега и льда, хотя пока альтернативы химическому методу нет, так как он обеспечивает безопасность движения на скользком покрытии, а это самый важный критерий.

Основное направление в практике зимнего содержания за рубежом – использование химических реагентов с минимальными нормами. Это профилактика или превентивные меры. По прогнозу за небольшой период времени до

образования гололеда распределяют реагенты с нормой 5-10 грамм на м². Обычно это увлажненные соли или рассолы.

Одним из современных методов борьбы с гололедом является использование комбинированных реагентов. Их действие связано со снижением температуры плавления снега и льда. Соответственно покрытая льдом поверхность достаточно быстро освобождается от гололеда, что приводит к безопасности движения. Стоит заметить, что каждый уникальный реагент должен быть экологичным.

В работе [5] авторы предлагают совместное использование добавок в соотношении примерно 1:7 (87,5 % NaCl и 12,5 % CaCl₂). Данный состав сокращает расход антигололедной добавки до 40 % и способствует расширению диапазона температур до минус 18 °С. При этом меньший расход этой антигололедной добавки в сравнении с использованием только NaCl, повысит экологическую безопасность. Кроме того реакция растворения CaCl₂ является экзотермической, то есть усиливает плавление льда, в то время NaCl при растворении поглощает теплоту и протекает с поглощением тепла.

Таким образом, для придания дорожному покрытию антигололедных свойств рационально вводить комбинированные смеси NaCl и CaCl₂ в структуру поверхностного слоя бетона.

Фрикционный метод борьбы с гололедом

Метод разбрасывания гранитной крошки по дорожному покрытию называют фрикционным. Гранитная крошка представляет собой небольшие фракции гранитного камня. Данный способ полностью не устраняет гололед, но сцепление колес с дорогой улучшает. Одна из причин ограничения применения данного метода в России является специфика городской канализации и особенности использования гранитной крошки.

Наиболее эффективный метод – горячий песок или гранитная крошка. Гранитная крошка за рубежом применяется только на тротуарах, на дорожных покрытиях не используется, т.к. она забивает ливневую канализацию. Такой способ применяют только там, где зимой снега практически нет, но частый го-

лолед – например, в Европе, Финляндии. Весной крошку сметают, моют, сушат и складывают в мешки до следующей зимы.

В Финляндии и Дании [2] используют альтернативный способ борьбы со скользкостью, который проводят, оставляя на дорожных покрытиях небольшой слой снега, а в последующем наносят мраморную или гранитную крошку с дальнейшим укатыванием. Или на дорогу наносят специальную смесь из щебня и воды, которое формирует покрытие повышенной шероховатости с хорошими сцепными свойствами. Однако данный метод является альтернативой химическим методам на дорогах с низкой интенсивностью движения.

Конструкционный способ борьбы с гололедом

Данный физико-химический метод основан на формировании гидрофобной поверхности путем введения в состав покрытия соответствующих химических добавок. Швейцарии, Германии, Соединенных Штатах Америки, Канаде и других странах производят укладку асфальтобетонных покрытий с модификатором «Верглимит», изготовленных на основе CaCl_2 . Данные смеси являются антиобледенителями. Асфальтобетонные покрытия, в состав которых входит данная добавка, плавят снег и лед. Нужно отметить, что в этих странах были проведены только научные исследования и укладка осуществлялась на опытных участках, о широком использовании никакой информации не предоставлено.

Учёные в Гипродор НИИ [1] разработали технологию укладки верхнего слоя покрытия из асфальтобетонной смеси, в которую добавляют твердый хлористый натрий – до 5 % массы вяжущего. При этом температура смерзания льда с покрытием опустилась до минус 18°C , а прочность сцепления льда с покрытием стала меньше до 10 раз. Эта добавка в асфальтобетонную смесь называется Грикол, практики отвергли эти решения. Смесь почти в 2 раза дороже и агрессивные реагенты быстро выводят из строя оборудование асфальтобетонных заводов.

В МАДИ исследователи разработали состав асфальтобетонной смеси, с добавлением водорастворимого шлака как противогололедную добавку (до 7 % от массы асфальтобетона)[1]. Адгезия льда уменьшилась до пяти раз. Суще-

ственным недостатком таких покрытий является повышенная пористость после растворения добавки, а также наличие влажной поверхности летом. Стоит отметить, что износостойкость этих покрытий может сократиться за счет шелушения.

Тепловой метод борьбы со скользкостью

В Соединенных Штатах Америки достаточно распространен тепловой метод борьбы с гололедом: дороги оборудованы установками по обогреву покрытий естественным теплом Земли[4]. Ещё одним открытием Соединенных Штатов Америки стал кабельный обогреватель, который укладывается на дорогах перед укладкой асфальтобетона и обеспечивает растапливание снега и льда на покрытии.

В Скандинавских странах от снега избавляются, применяя силы природы, это является самым экологически безопасным методом. В трубы загоняют воду из геотермальных источников, при этом коммуникации идут под тротуарами и дорогами. Температуры этой воды достаточно, чтобы растопить снег на поверхности дороги. Вследствие этого проезжая часть и тротуары остаются чистыми. Аналогичный способ очистки улиц от снега применяется в японском городе Саппоро.

Альтернативные современные антигололедные методы

В Норвегии цикличность уборки снега строго нормирована. По достижению толщины снегового покрова не более 5 см мокрого снега или 6 см сухого снега осуществляется очистка дорог, при этом максимальное допустимое количество снега может достигать 12 см. К прогрессивным способам борьбы с гололедом в Норвегии относится применение теплого увлажненного песка [3]. При использовании данного метода достигается значение коэффициента сцепления колеса с покрытием примерно в 1,5 раза большего, чем при использовании сухого песка.

В Японии все силы по борьбе с гололедом направлены на уменьшение накопления снега на дорогах путем разработки и внедрения снегозадерживающих устройств [2].

Система информирования о погодных условиях

Так как, по мнению практиков и западных экспертов в настоящее время нет альтернативы химическому методу ликвидации зимней скользкости из-за его быстрого восстановления сцепных качеств дорожного покрытия, то идут поиски путей возможного снижения количества противогололедных реагентов.

Широкое применение получили превентивные обработки покрытия до момента его обледенения и выбор оптимальных норм противогололедного реагента для ликвидации скользкости [8, 9].

Решение этой задачи возможно путем развития систем погодного мониторинга, которые позволяют получить предупреждение о возможном обледенении покрытия за короткий срок – от 1 до 3 часов. Это дает возможность в 4–6 раз сократить количество применяемой соли и повысить безопасность движения, так как покрытие остается влажным из-за наличия на нем реагента и снижения температуры замерзания.

Такие системы достаточно успешно развиваются в России на федеральных трассах, что позволяет совершенствовать оперативное управление работами по борьбе с гололедом на автомобильных дорогах [10]. Это может позволить перейти от уже существующих в России технологий ликвидации зимней скользкости к более успешной профилактике ее образования, что обеспечит значительное снижение затрат на содержание дорог и повысить экологические условия в придорожных полосах.

Заключение. Сравнивая Зарубежные страны и Россию, при сопоставимой величине сети дорог, в России расходуется в несколько раз больше реагентов.

С точки зрения экономии средств и безопасности окружающей среды в России целесообразно уменьшить расход химических веществ путем развития новых технологий по борьбе с гололедом.

Вопросу о снижении количества химических добавок в настоящее время уделяется первенствующее внимание во всех странах. Переход на профилактические работы при зимнем содержании дорог требует наличия специализиро-

ванных прогнозов образования гололеда и передовой техники для распределения добавок.

Стоит отметить, что система погодного мониторинга является только одной из подсистем оперативного управления зимним содержанием дорог. Параллельно с этим должны решаться вопросы модифицирования и переработки нормативной базы, систем связи, внедрения информационных систем в процессы содержания дорожной техники.

Такое комплексное решение всех этих задач позволит коренным образом улучшить систему зимнего содержания дорог.

Список литературы

1. Пшембаев М.К., Ковалев Я.Н., Яглов В.Н. и др. Способы борьбы с зимней скользкостью // Наука и техника. 2020. Т. 19, № 3. С. 230-240.
2. Пономарев Я.О., Хоружий А.Д. Методы борьбы с зимней скользкостью в России и за рубежом // Дорожная держава. 2014. № 5. С. 3-7.
3. Васильев А.П., Ушаков В.В. Анализ современного зарубежного опыта зимнего содержания дорог и разработка предложений по его использованию в условиях России. М.: ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР», 2003. С. 60.
4. Зимнее содержание дорог в России и за рубежом // Российский информационно-технический журнал, № 1, 2012. С. 18.
5. Евтюков С.А., Евтюков С.С. Параметры, влияющие на сцепные качества покрытий автодорог // Вестник «Технические и физико-математические науки», 2013. С. 75-82.
6. Пшембаев М.К. Процессы, протекающие на поверхности бетонных покрытий при их химической защите от зимней скользкости / М.К. Пшембаев, Я.Н. Ковалев, В.Н. Яглов // Наука и техника. 2016. Т. 15, № 4. С. 265-270.
7. Шейкин А.Е. Цементные бетоны высокой морозостойкости / А.Е. Шейкин, Л.И. Добшиц. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1989. С. 128.

8. Самодурова Т.В. Оперативное управление зимним содержанием дорог. Научные основы: Монография / Т.В. Самодурова. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2003. С. 168.

9. Самодурова Т.В. Метеорологическое обеспечение зимнего содержания автомобильных дорог / Т.В. Самодурова. – Ассоциация «РАДОР» М.: ТИМР, 2003. С. 183.

10. Погодный мониторинг в системе оперативного управления зимним содержанием автомобильных дорог. Обзорная информация / Т.В. Самодурова. М.: Информавтодор, 2006. Вып. 2. С. 88.

References

1. Pshembaev M.K., Kovalev Ya.N., Yaglov V.N. et al. Ways to combat winter slipperiness // Science and Technology. 2020. V. 19, No. 3. P. 230-240.

2. Ponomarev Ya.O., Khoruzhy A.D. Methods of combating winter slipperiness in Russia and abroad // Road power. 2014. No. 5. P. 3-7.

3. Vasiliev A.P., Ushakov V.V. Analysis of modern foreign experience of winter road maintenance and development of proposals for its use in Russia. M.: FSUE «INFORMAVTODOR», 2003. P. 60.

4. Winter maintenance of roads in Russia and abroad // Russian Information and Technical Journal, No. 1, 2012. P. 18.

5. Evtyukov S.A., Evtyukov S.S. Parameters affecting the adhesion qualities of road surfaces // Bulletin «Technical and physical and mathematical sciences», 2013. P. 75-82.

6. Pshembaev M.K., Kovalev Ya.N., Yaglov V.N. Processes occurring on the surface of concrete coatings during their chemical protection from winter slipperiness // Science and Technology. 2016. V. 15, No. 4. P. 265-270.

7. Sheikin A.E. Cement concretes of high frost resistance / A. E. Sheikin, L. I. Dobshits. Leningrad: Stroyizdat, Leningrad. Department, 1989. P. 128.

8. Samodurova T.V. Operational management of winter road maintenance. Scientific foundations: Monograph / T.V. Samodurov. Voronezh: Voronezh Publishing House. state un-ta, 2003. P. 168.

9. Samodurova T.V. Meteorological support for winter maintenance of highways / T.V. Samodurov. - Association «RADOR» M.: TIMR, 2003. P. 183.

10. Weather monitoring in the system of operational management of winter maintenance of roads. Overview / T.V. Samodurova.M.: Informavtodor, 2006. - Issue. 2. P. 88.

Степанова Александра Олеговна – магистрант гр. мТПАД-211 кафедры проектирования автомобильных дорог и мостов Воронежского государственного технического университета
Артамонова Ольга Владимировна – д-р техн. наук, профессор кафедры химии и химической технологии материалов Воронежского государственного технического университета

УДК 69.059.642

**ПРИМЕР РАЦИОНАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА С ПОВТОРНЫМ
ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЖИЛОГО ДОМА
В с. ЯМНОЕ, ВОРОНЕЖСКАЯ ОБЛАСТЬ**

В.Ю. Ивлева

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

Адрес для переписки: Ивлева Василина Юрьевна

E-mail: vasilinaivleva@gmail.com

На данный момент экологическая ситуация в мире все больше и больше ухудшается в связи с экономическим ростом стран, увеличение добычи сырьевых ископаемых, и образованием при этом огромных объемов промышленного мусора и выбросом углекислого газа в атмосферу земли. В данной статье показан пример повторного использования строительных материалов при малоэтажном строительстве, создание технологии безотходного производства позволит улучшить экологическую ситуации в мире.

***Ключевые слова:** утилизация строительного мусора, строительство, экология, повторное использование строительных материалов, снос, конструкции стен и фундаментов*

**AN EXAMPLE OF SUSTAINABLE CONSTRUCTION WITH REPETITIVE
REUSE OF MATERIALS, PRODUCTS AND STRUCTURES IN THE
CONSTRUCTION OF A RESIDENTIAL HOUSE IN THE s. YAMNOE,
VORONEZH REGION**

V.Yu. Ivleva

Corresponding author: Ivleva V.Yu., e-mail: vasilinaivleva@gmail.com

At the moment, the environmental situation in the world is deteriorating more and more due to the economic growth of countries, an increase in the extraction of raw materials, and the formation of huge volumes of industrial waste and the release of carbon dioxide into the earth's atmosphere. This article shows an example of the reuse of building materials in low-rise construction, the creation of waste-free production technology will improve the environmental situation in the world.

Keywords: construction waste disposal, construction, ecology, reuse of building materials, demolition, wall and foundation structures

Введение. Строительные материалы и промышленные отходы необходимо повторно использовать в строительстве, т. к. это позволяет снизить материальные и финансовые ресурсы, выбросы углекислого газа в атмосферу земли и уменьшить объемы ТБО. Одним из вариантов повторного использования строительных материалов, изделий и конструкций является разработки кафедры СКО и Ф ВГТУ строительных технологий замкнутого цикла, которые в настоящее время активно применяются в Воронеже, Подмосковье, Ленинградской и Свердловской областях.

Рассмотрим вариант, когда повторное использование железобетонных конструкций, образовавшихся при поэлементном демонтаже промышленного здания позволил собрать несущий каркас пристройке жилого дома. При строительстве был использован патент Золотухина С.Н. [5]

Особо можно выделить так же то, что заказчик в процессе строительства потребовал увеличения величины подвального помещения на высоту 1,5 метра при уже существующих фундаментах, что потребовало разработки технологии монтажа плитных железобетонных ребристых плит при существующем фундаменте. Возведение объекта осуществлялся силами сотрудника кафедры СКО

и Ф им. Проф. Борисова ВГТУ. При проектировании строительства часть работ выполнялась студентами, работающими как на практике, так и каникулярное время что позволило провести обучение молодых специалистов этим технологиям. Кроме студентов ВГТУ на этом объекте в качестве рабочих строительных специальностей активно работали студенты с Санкт-Петербургского строительного института, Туркменистан, Нигерии и Кот-д'Ивуар, что позволяет надеяться на расширение географии использования строительных технологий замкнутого цикла, разрабатываемых в ВГТУ, во всем мире. Кроме этого обучения велось у студентов выпускных курсов строительного факультета, когда материалы по строительству данного дома использовались в курсовой работе и в учебе магистров.

Цель исследования: Изучить и описать разработку строительных технологий замкнутого цикла, позволяющая снизить выбросы углекислого газа в атмосферу земли, уменьшить объемы свалок ТБО и резко снизить стоимость устройства несущих каркасов малоэтажных зданий.

Задачи исследования: изучить опыт проектирования объекта пристройки жилому дому и практическое строительство данного объекта.

Основная часть. Первоначальный проект здания не предполагал наличие подвального помещения. После того как устройство фундамента глубиной 1,5 м было закончено заказчик захотел устроить из подвального помещения бильярдную с высотой 3 метра. Данные работы выполнялись по следующим технологиям: глубина 1,6 м, затем укрепление грунтов оснований методом объемной цементации грунтов, монтаж ленточного фундамента с применением б/у ребристых железобетонных плит перекрытия, которые использовались в качестве конструкции фундаментов под это здание, после того как заказчик попросил создать подвальное помещение под бильярдную, погреба и другого подсобного помещения, была разработана технология создания дополнительных фундаментов на глубину до 3х метров с повторным использованием железобетонных ребристых плит, после устанавливались микросваи, которые получали бурения ручными мотобурами с армированием и бетонированием. После устройства

микросвай экскаватором отрывалась траншея и предварительно резаные с помощью алмазных фрез ребристые плиты покрытия монтировались под существующие фундаменты. При подкопе под уже существующий фундамент могут возникать трещины как на грунте, так и в стенах.

Для наращивания высоты был вырыт котлован. Рылся поэтапно, размер захватки составлял от 1,5 до 2-х метров что позволяло необрушиться песчаным грунтам. Сразу после рытья на это место после подготовки поверхности строительными рабочими производился монтаж одной плиты на пол, а второй монтировалась вертикально, след захватка выполнялась на стыке вышележащих плит. После монтажа происходило крепление верхних плит с нижними, после чего выполнялся рытье котлована и монтажа. На следующих захватках подвала роют котлован на глубину до 3000 мм, куда размещают сваи и заливают бетоном, после чего устанавливается арматурный каркас. После проделанной работы на пятый день можно начинать капать. Затем кладется плита на пол, засыпается глиной и тем самым уплотняется. Чем удобна тонкостенная конструкция это быстро делается сборный железобетон. После того, как уплотнили 40 см глубины, можно быть уверенным, что стена стоит надежно.

Для получения использовались плиты необходимых маленьких размеров, меньше чем 5,5 метров, использовались подломленные ребристые плиты (бракованные), которые таким образом не попали на свалки ТБО. Потому что при производстве одной тонны цемента в атмосферу выбрасывается 250 кг углекислого газа. Для этого мы применяем повторное использование ребристых плит при устройстве фундамента. Тем самым еще и уменьшаем кол-во свалок твердых бытовых отходов, на которых по статистике от 40 до 70 % это строительный мусор.

Самое опасное в устройстве подвала под фундаментом дома – это выпор грунта. Чтобы его не допустить, к работе должны допускаться только настоящие специалисты, которые будут контролировать скорость выполнения задачи, так как есть всего 10-12 минут до появления характерного звука и трещин перед выпором грунта.

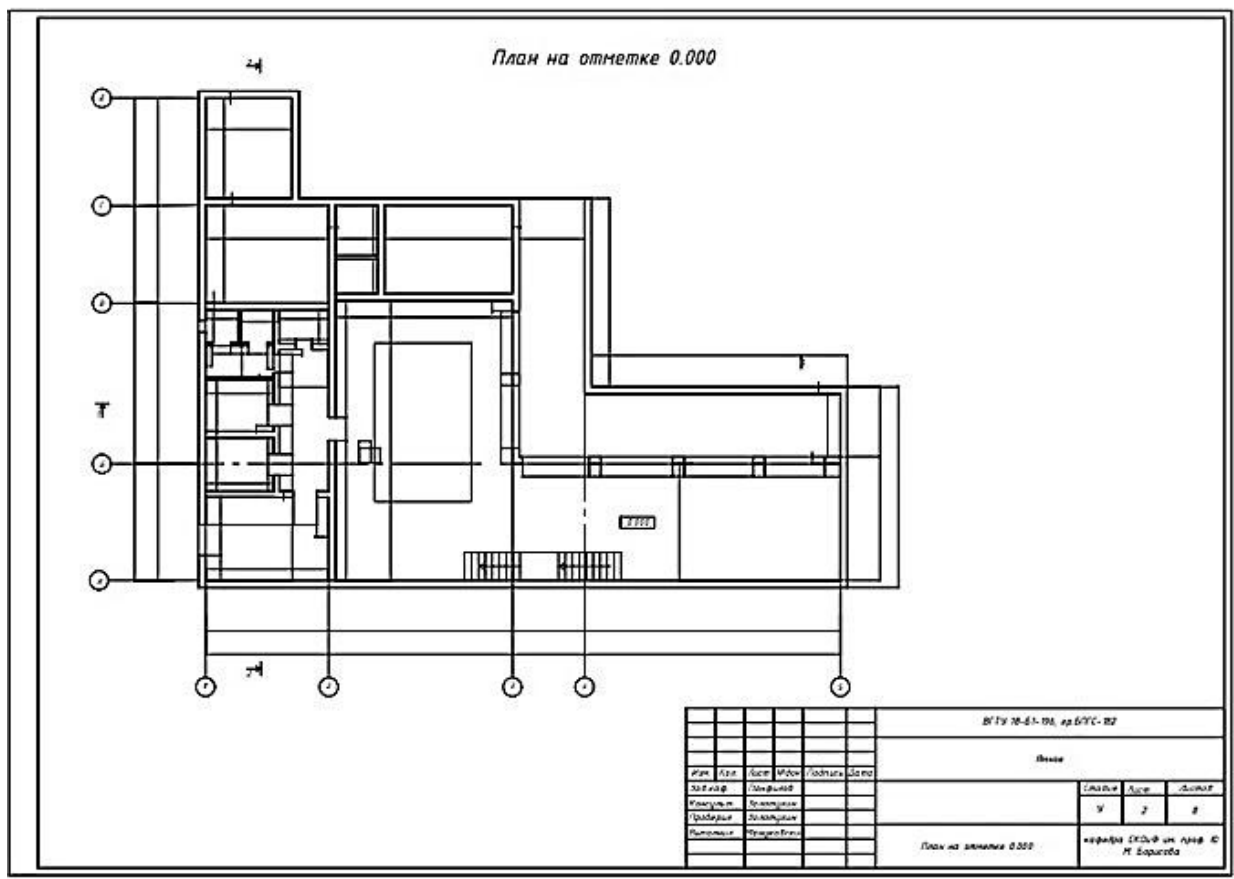


Рис. 1. План на отметке 0.000 [2]

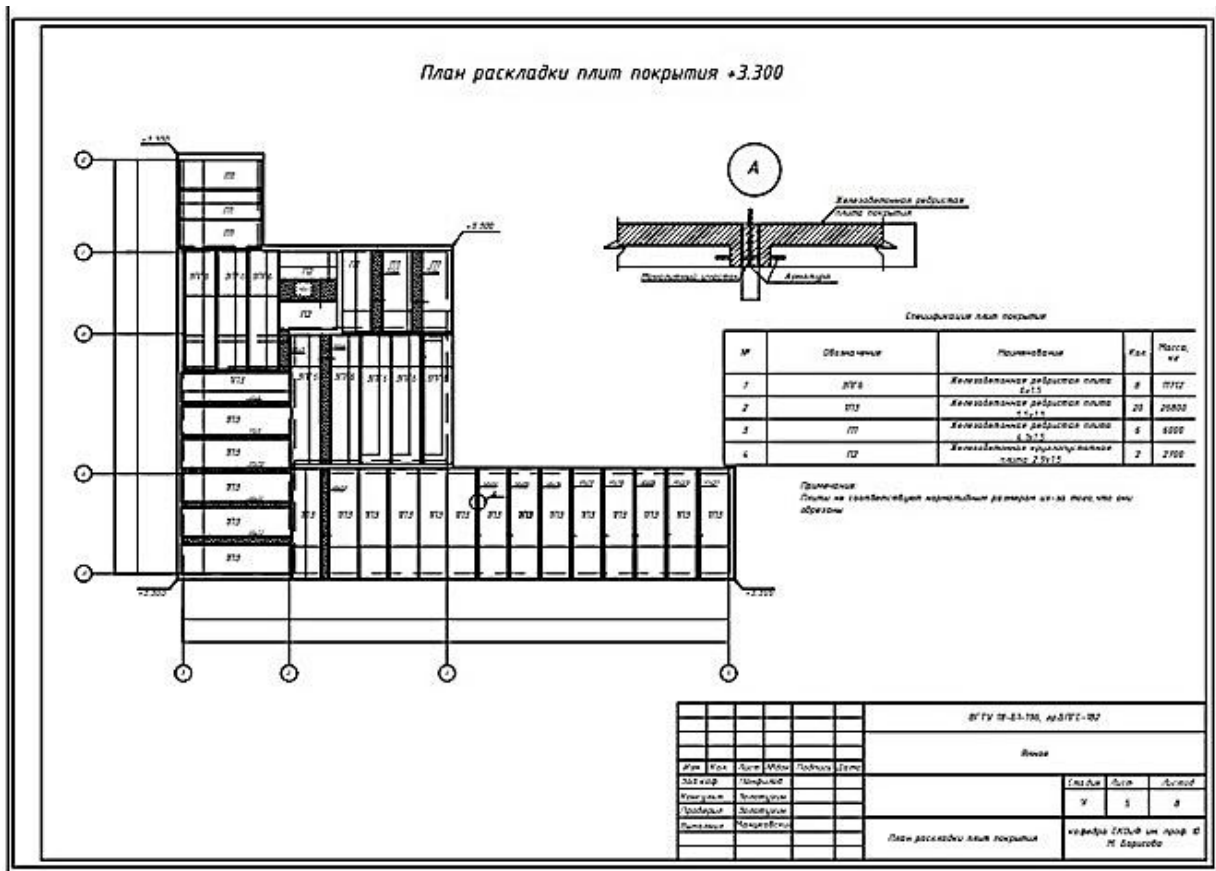


Рис. 2. План раскладки плит покрытия 3.300 [2]

Базовая технология. Технология предполагает следующие этапы: - осмотр зданий специалистами на предмет оценки способов их рационального сноса с рекомендаций; - проведение экспресс анализа остаточных сроков службы однотипных групп строительных конструкций с использованием «экспертных методов» прогноза; - принятие решения о возможности повторного использования отдельных групп однотипных демонтируемых конструкций; - инженерный надзор за сносом и сортировкой образующихся строительных материалов и конструкций; - определение физико-механических и экологических характеристик материалов, образовавшихся в результате разборки зданий; - проектирование и строительство конструкций фундаментов малоэтажных зданий, с применением ранее использованных строительных материалов и конструкций.

Решение описанной проблемы. По результатам проведенных измерений контроля прочности бетона различных конструкций была проведена статистическая обработка результатов. В ходе статистической обработки был выполнен расчет класса бетона по прочности на сжатие. Расчет класса бетона был выполнен с использованием трех различных методик.

Методика 1. Расчет класса бетона по прочности на сжатие выполнен по формуле:

$$B=R_m*(1-tI*V).$$

Все обозначения в формуле приняты по п. 3.2 [7].

Методика 2. Расчет класса бетона по прочности на сжатие выполнен по формуле:

$$B=R_m/K_t.$$

Коэффициент требуемой прочности K_t принимался по табл. 4 [8].

Методика 3. Расчет класса бетона по прочности на сжатие выполнен по формуле:

$$B = R_m * 0.8.$$

Промежуточные и окончательные результаты проведенной статистической обработки измерений прочностных показателей бетона строительных конструкций, после их демонтажа приведены в таблице. За окончательное значение класса бетона принималось минимальное значение из трех полученных по выше приведенным формулам округленное до целого.

Результаты определения класса бетона попрочности

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Железобетонная колонна (n=20)	36.1 37.4 38.2 30.7 37.2 37.3 37.9 30.8 39.3 35.1 39.5 38.8 34.7 39.5 32.7 35.7 36.6 33.7 31.2 36.2	$\frac{361}{36.1}$	3.20	9.4	1.73	$\frac{0.42}{(5\%)}$	$\frac{25.3}{24.74}$ 24.83	25
3	Железобетонная колонна (n=20)	31.4 33.4 36.1 33.5 32.2 35.8 38.8 31.8 35.8 37.7 38.3 37.6 34.7 35.2 32.4 30.7 31.8 32.6 33.2 34.0	$\frac{354}{35.4}$	2.53	7.8	1.71	$\frac{0.37}{(4\%)}$	$\frac{26.6}{27.4}$ 26.5	27
4	Железобетонный ригель покрытия (n=20)	41.2 47.9 46.2 42.6 46.9 43.1 48.0 46.9 42.2 49.0 48.0 42.0 43.0 47.1 48.0 44.2 41.8 42.4 44.6 44.1	$\frac{461}{46.1}$	3.11	7.2	1.73	$\frac{0.31}{(3\%)}$	$\frac{35.9}{35.8}$ 36.7	36
5	Железобетонный ригель перекрытия (n=20)	45.9 45.6 44.3 51.7 44.9 49.3 43.6 54.0 50.9 45.9 49.8 44.6 43.7 47.8 42.1 44.8 45.8 43.8 46.9 47.0	$\frac{463}{46.3}$	3.54	7.5	1.71	$\frac{0.34}{(3\%)}$	$\frac{34.8}{35.2}$ 34.9	35
6	Ребристая железобетонная плита перекрытия (n=20)	20.4 19.4 19.4 23.5 21.2 21.9 22.9 20.2 23.2 23.3 23.9 23.0 20.3 19.2 19.1 17.4 18.1 20.5 17.3 18.4	$\frac{206}{20.6}$	2.131	10.3	1.73	$\frac{0.82}{(4\%)}$	$\frac{16.96}{16.71}$ 17.15	17

Продолжение таблицы

7	Рёбристая железобетонная плита (n=20)	21.1 22.1 24.7 21.7 22.6 19.4 21.2 21.6 23.0 19.7 24.2 17.4 23.8 18.9 18.9 19.8 24.3 23.2 23.6 20.6	$\frac{216}{21.60}$	2.31	9.7	1.73	$\frac{0.89}{(4\%)}$	$\frac{17.60}{17.31}$ $\frac{17.31}{17.83}$	17
8	Железобетонная колонна (n=10)	36,4 35,5 34,5 37,5 37,1 37,5 36,2 39,5 36,0 39,7	$\frac{364}{36,489}$	1,649	4,5	1,83	$\frac{1,01}{(3\%)}$	$\frac{33,48}{29,19}$ $\frac{29,19}{33,8}$	29
9	Железобетонная колонна (n=10)	36,9 35,7 28,4 34,5 30 35,9 33,2 37,4 28,3 34,6	$\frac{340}{34}$	3,267	9,6	1,86	$\frac{2,15}{(6\%)}$	$\frac{27,93}{27,2}$ $\frac{27,2}{28,65}$	27
10	Железобетонный ригель покрытия (n=15)	36 34,2 34,3 36,3 36,7 34,9 35,2 35,6 35,7 36,3 34,5 35,6 36,3 34,8 35,6	$\frac{354}{35,467}$	0,79	2,2	1,75	$\frac{0,36}{(1\%)}$	$\frac{34,1}{28,37}$ $\frac{28,37}{34,19}$	8
11	Железобетонная плита покрытия (n=10)	33,1 25,9 36,7 34,4 28,5 31,1 34,4 33,8 35,4 31,8	$\frac{322}{32,237}$	3,543	11	1,86	$\frac{2,33}{(7\%)}$	$\frac{25,64}{25,79}$ $\frac{25,79}{26,42}$	5
12	Железобетонная плита покрытия (n=10)	37,6 44,6 33,5 36,8 36,2 36,8 34,1 40 35,1 39	$\frac{374}{37,45}$	4,461	11,9	1,86	$\frac{2,93}{(8\%)}$	$\frac{29,16}{29,96}$ $\frac{29,96}{30,14}$	9
13	Железобетонная плита перекрытия (n=8)	36,9 35,7 28,4 34,5 30,0 35,9 33,2 37,4	$\frac{340}{34}$	3,267	9,6	1,86	$\frac{2,15}{(6\%)}$	$\frac{27,93}{27,2}$ $\frac{27,2}{28,65}$	7
14	Железобетонная плита перекрытия (n=10)	33,7 30,6 27,2 36,6 25,9 36,2 28,4 32,2 30,9 35,6	$\frac{344}{34,4}$	3,419	10,8	1,73	$\frac{1,32}{(4\%)}$	$\frac{25,76}{25,34}$ $\frac{25,34}{26,06}$	5

Приведенные в таблице итоговые значения классов бетона конструкций, показывают, что при отсутствии значительных коррозионных повреждений ар-

матуры в этих конструкциях, они могут повторно использоваться в качестве несущих конструкций малоэтажных зданий.

Описание базовой технологии. Технология предполагает следующие этапы: - осмотр зданий специалистами на предмет оценки способов их рационального сноса с выдачей рекомендаций;

- проведение экспресс анализа остаточных сроков службы однотипных групп строительных конструкций с использованием «экспертных методов» прогноза;

- принятие решения о возможности повторного использования отдельных групп однотипных демонтируемых конструкций;

- инженерный надзор за сносом и сортировкой образующихся строительных материалов и конструкций;

- определение физико-механических и экологических характеристик материалов, образовавшихся в результате разборки зданий;

- проектирование и строительство конструкций фундаментов малоэтажных зданий, с применением ранее использованных строительных материалов и конструкций.

Технология разработана и апробирована нами на строительстве малоэтажных объектов г. Воронежа и области. В настоящее время по этой технологии построены десятки зданий (небольшой физкультурный центр, частные магазины, жилые дома малой этажности, частные гостиницы высотой до 3-х этажей, надворные постройки). Фотографии процесса возведения фундаментов отдельных строительных объектов приведены на рис. 3. Стоимость 1 м³ фундамента построенных зданий колеблется в районе 3,5 тыс. рублей, что в 3-5 раз ниже цен на строительство по обычным технологиям.

В некоторых случаях, при необходимости, отдельные конструкции могут быть обрезаны до нужных размеров, с использованием современного оборудования.



Рис. 3. Фото с объекта строительства

Заключение. Снос зданий по технологиям, распространенным в настоящее время в России, экономически и экологически нецелесообразен. В отличие от широко известных технологий предлагаемая нами разработка по демонтажу зданий и строительства малоэтажных домов является безотходной и позволяет:

- решить экологические проблемы утилизации железобетонных колонн, сколы, начавшуюся коррозию арматуры, за счет их повторного использования в конструкциях фундаментов без вывоза их на свалки ТБО;
- снизить сроки устройства фундаментов;
- резко снизить материалоемкость и стоимость устройства фундаментов малоэтажных зданий и сооружений;
- повысить качество выполняемых работ из-за использования плит заводского изготовления, отсутствия необходимости в установке дорогостоящей опалубки и высококвалифицированных специалистов на строительной площадке.

Список литературы

1. СП 325.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила производства при демонтаже и утилизации. М., 2017. 57 с.

2. СТО НОСТРОЙ 2.33.53-2011 СНОС (Демонтаж) зданий и сооружений. Москва, 2012.
3. ВСН 39-83(р). Инструкция по повторному использованию изделий, оборудования и материалов в жилищно-коммунальном хозяйстве/ Госгражданстрой. М.: Стройиздат, 1985. 32 с.
4. Колодяжный С.А., Золотухин С.Н., Абраменко А.А., Артемова Е.А. Снос зданий и использование материалов, образующихся при реновации городских территорий // Вестник МГСУ, 2020. Т. 15. Вып. 2. С. 271-293. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.271-293.
5. Патент РФ RU 2671 019 С1. Способ возведения стенчатого фундамента с использованием ребристых плит перекрытий (покрытий) / Колодяжный С.Н., Золотухин С.Н., Абраменко А.А., Кукина О.Б., Вязов А.Ю., Лобосок А.С., Милованова В.И. Заявл. №2017118843, 30.05.2017; опубл. 29.10.2018, Бюл. № 31.
6. Патент РФ RU 2647521 С1. Способ изготовления сплошных плитных фундаментов коробчатого сечения из ребристых плит перекрытия / Колодяжный С.Н., Золотухин С.Н., Абраменко А.А., Кукина О.Б., Вязов А.Ю., Лобосок А.С., Милованова В.И. Заявл. №2017107309, 06.03.2017; опубл. 16.03.2018, Бюл. № 8.
7. Галаева Н.Л. Использование метода взрыва для сноса зданий и сооружений в условиях городской застройки // Перспективы науки. 2019. № 5 (116). С. 54-56.
8. Гельдыев М.Т., Аразов Б.М. Технологиисноса зданий // Молодежь и наука: шаг к успеху: сб. науч. ст. 3-й Всеросс науч. конф. перспективных разработок молодых ученых. Курск, 21-22марта 2019 г. Курск: Университетская книга, 2019. С. 27-30.

References

1. SP 325.1325800.2017.Zdaniyai sooruzheniya.Pravila proizvodstva pri demontazhe iutilizatsii. [Buildings and constructions. Production rules for dismantling and disposal]. Moscow, 2017.57 p. (in Russian).

2. STO NOSTROY 2.33.53-2011 Demolition (Dismantling) of buildings and structures. Moscow, 2012.

3. VSN 39-83 (p) Instruktsiya po povtornomu ispolzovaniyu izdeliy, oborudovaniya I materialov v zhilischno-kommunalnom hozyaystve [Instructions for the reuse of products, equipment and materials in housing and communal services]. Gosgrazhdanstroi. M.: Stroiiizdat, 1985. 32 p. (in Russian).

4. Kolodyazhny S.A., Zolotukhin S.N., Abramenko A.A., ArtemovaYe.A. Destruction of buildings and use of materials from renovated urban territories. Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020; 15(2):271-293. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.271-293 (rus.).

5. Kolodyazhny S.N., Zolotukhin S.N., Abramenko, A.A., Kukina O.B., Vyazov A.Y., Lobosok A.S., Milovanova V.I. Sposob vozvedeniya stenchatogo fundamenta s ispolzovaniem rebristyyih plit perekryitiy (pokryitiy) [The method of construction sanatoga Foundation using ribbed slabs (surfaces)]. Patent RF, no. 2671 019 C1, 2018 (in Russian).

6. Kolodyazhny S.N., Zolotukhin S.N., Abramenko, A.A., Kukina O.B., Vyazov A.Y., Lobosok A.S., Milovanova V.I. Sposob izgotovleniya sploshnyh plitnyh fundamentov korobchatogo secheniya iz rebristyyih plit perekrytiya [The method for manufacturing solid box-section slab foundations from ribbed floor slabs]. Patent RF, no. 2 647 521 C1, 2018 (in Russian).

7. Galaeva N.L. Using the explosion method for the demolition of buildings and structures in urban development // Prospects of science. 2019. No. 5 (116). P. 54-56.

8. Geldiev M.T., Arazov B.M. Demolition technologies // Youth and science: a step towards success: Sat. scientific Art. 3rd All-Russian scientific.conf. promising developments of young scientists. Kursk, March 21-22, 2019. Kursk: Universitetskayakniga, 2019. P. 27-30.

Ивлева Василина Юрьевна – студент группы МИОФ-211 строительного факультета Воронежского государственного технического университета

УДК 69.055.8

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ СО СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛЮЮ, И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

С.Н. Золотухин¹, К.А. Глотова^{1}, С.Н. Букша²*

¹*Воронежский государственный технический университет,
Российская Федерация, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84*

²*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная
академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
Российская Федерация, 394064, г. Воронеж, ул. Ст. Большевиков, 54а*

**Адрес для переписки: Глотова Кристина Андреевна,*

E-mail: Kristina.glotova.1999@mail.ru

В статье говорится о негативном влиянии строительства на окружающую среду, методах и технологиях, которые позволяют сделать строительство более рациональным и экологичным. В настоящее время при сносе зданий огромное количество строительного мусора попадает на свалки ТБО, однако, при поэлементном демонтаже строительных конструкций можно их повторно, что позволит снизить количество строительного мусора на свалках ТБО, а также уменьшить стоимость строительства и выбросы CO₂ в атмосферу.

Ключевые слова: *рациональное строительство, строительство, повторное использование строительных материалов, снос зданий и сооружений, поэлементный демонтаж зданий и сооружений*

ENVIRONMENTAL PROBLEMS RELATED TO THE CONSTRUCTION INDUSTRY AND METHODS OF THEIR SOLUTION

S.N. Zolotukhin¹, K.A. Glotova^{1}, S.N. Buksha²*

¹*Voronezh State Technical University,*

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

²*«Military Educational and Scientific Centre of the Air Force*

N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh),

Russian Federation, 394064, Voronezh, ul. St. Bol'shevikov, 54a

**Corresponding author: Glotova Kristina Andreevna,*

E-mail: Kristina.glotova.1999@mail.ru

The article talks about the negative impact of construction on the environment, methods and technologies that make construction more natural and environmentally friendly. Currently, the amount of construction waste in landfills, however, with element-by-element dismantling of building structures, can reduce the amount of construction waste in landfills, as well as reduce construction costs and CO₂ emissions in production.

Keywords: *rational construction, construction, reuse of building materials, demolition of buildings and structures, piecemeal dismantling of buildings and structures*

Введение. Мы хотим жить в чистой стране, дышать чистым воздухом, однако сами постоянно занимаемся загрязнением нашей среды. Строительство является одной из отраслей, которая ответственна за огромные свалки ТБО, загрязнение атмосферы нашей земли CO₂. В настоящее время появляется новая техника, с помощью которой можно создавать новые технологии, что позволит уменьшить экологические проблемы, связанные с строительной отраслью.

При росте населения в городах, возрастает производственная деятельность, увеличиваются объемы строительства, развиваются железнодорожная, автомобильная отрасли [1].

При увеличении объемов строительства производится большое количество строительных материалов, как следствие происходит увеличение выбросов CO₂ в атмосферу. Жизненный цикл строительных объектов заканчивается их

сносом и демонтажем зданий, что приводит к образованию большого количества строительного мусора и скопления его на свалках ТБО.

Немаловажной задачей, стоящей перед строителями, всегда является снижение стоимости построенного, а это может быть решено при повторном использовании строительных материалов, изделий и конструкций.

Целью исследования является – изучение объемов выбросов углекислого газа в атмосферу земли, кроме этого, как образуется строительный мусор, определить объемы этого мусора и определить основные направления по снижению выбросов CO₂ и строительного мусора за счет создания новых технологий замкнутого цикла.

Задачи: Провести литературный обзор и анализ причин выбросов CO₂ и образование строительного мусора. Определить возможные пути уменьшения экологических и экономических проблем, связанных с этим.

Основная часть. Исследования по определению объемов выбросов CO₂ в атмосферу земли проводились на основании статистических данных, полученных при изучении следующих источников [2-3]. В табл. 1 мы видим, что объемы выбросов составляют от 196,44 т. до 243,28 т.

Таблица 1

Выбросы парниковых газов, связанные с промышленными процессами и использованием промышленной продукции

Млн.тонн/год	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Всего	207,41	196,44	199,79	215,97	220,24	220,48	218,64	218,32	232,60	243,28	237,40
продукция из минерального сырья	36,20	36,52	39,45	41,44	42,87	42,41	39,41	35,58	36,11	36,90	36,32
химическая промышленность	58,78	49,57	47,42	56,10	59,99	57,25	55,64	57,58	69,00	77,78	71,82
металлургия	108,31	102,82	103,61	107,13	104,62	106,20	107,62	107,36	107,94	106,82	104,94
растворители и неэнергетические продукты из топлива	1,23	1,13	1,19	1,31	1,22	1,52	1,61	1,76	1,42	1,52	1,74
электронная промышленность	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,03
фторированные заменители озон разрушающих веществ	2,01	5,35	7,02	8,89	10,42	11,86	13,11	14,73	16,71	18,81	20,97
производство и использование другой продукции	0,87	1,05	1,08	1,09	1,12	1,22	1,23	1,29	1,40	1,44	1,58

Исходя из этих данных, можно сделать вывод, что количество выбросов парниковых газов с каждым годом только растет. Металлургия – является самой загрязняющей промышленностью.

Роль строительства при выбросах CO₂ в атмосферу. По данным ВР (статистический обзор мировой энергетики), объем выбросов в мире в 2018 году составил 33,9 млрд т. [4].

Россия входит в пятерку стран, которые лидируют по количеству выбросов CO₂:

1. Китай – 27,82%
2. США – 15,18%
3. Индия – 7,31%.
4. Россия – 4,58%.

В России большая часть выбросов – от производства энергии, а именно от сжигания топлива, такого как природный газ и уголь.

На долю строительства в мире, с учетом эксплуатации зданий и сооружений по данным ООН приходится около от 30% до 38% выбросов CO₂. А в России на долю строительства приходится около 25% выбросов углекислого газа, что говорит о том, что строительная отрасль является одним из основных антропогенных источников загрязнения атмосферы [5].

Изучение табл. 2 позволяет понять объемы производства основных строительных материалов, таких как: сталь, цемент, железобетон, кирпич и количество выбросов CO₂, образующихся при этом [6].

Таблица 2

Объемы выбросов углекислого газа в год
при производстве основных строительных материалов

	Сталь	Цемент	Железобетон	Кирпич силикатный	Кирпич керамиче- ский
	(млн. т)	(млн. т)	(млн. м ³)	(млн. шт)	(млн. шт)
Производится в год	73,1	57,8	27,1	2216,8	4583,2
Объемы выбросов в год	109,65	14,45	16,26	1,49	3,18

Для изготовления цемента, кирпича, а также других строительных материалов используется огромное количество энергии, которая образуется при сгорании природного топлива, что приводит к выбросам парниковых газов в атмосферу.



Исходя из формулы химической реакции при горении метана, мы можем наглядно увидеть, что в атмосферу выделяется углекислый газ.

В перечень основных строительных материалов, используемых при строительстве зданий и сооружений входят: железобетон, сталь, цемент, кирпич, бетон, стекло и дерево.

В табл. 3 приведены выбросы от производства основных строительных материалов

Таблица 3

Объёмы выбросов CO₂ при производстве 1 т материала

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

В Москве, по разным оценкам, ежегодно в строительной сфере образуется от 1500 до 2000 тысяч тонн строительного мусора. Это строительный лом от сноса и демонтажа объектов, бракованные и некачественные изделия заводов ЖБИ, неиспользованные растворы и смеси на стройплощадках. Из них 70 –

80 тысяч тонн перерабатываются на вторичный песок и щебень и используются повторно [7].

Эксперты ЮНЕП (программа ООН по окружающей среде) напоминают, что к 2030 году прямые выбросы CO₂ в строительной отрасли необходимо сократить вдвое с тем, чтобы добиться «нулевого» уровня выбросов в этом секторе к 2050 году [8].

В 2012 году в России была принята программа «Основы Государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года». В ней говорится об основных направлениях обращения с отходами: предупреждение и уменьшение количества отходов, так же планируется поэтапно ввести запрет на захоронение отходов [9].

Больше всего негативное влияние на состояние окружающей среды со стороны строительной отрасли оказывают производство стали, цемента, и логистические затраты, связанные с выбросами CO₂, возникающие при этом [5].

Кроме этого немалый объем выбросов возникает из-за нерациональных методов сноса зданий и сооружений, вследствие чего образуется огромное количество строительного мусора, который вывозится на свалки ТБО [10].

Разберем более подробно, как возникают данные проблемы. Существует несколько способов сноса зданий, рассмотрим основные.

Взрывной метод. Для сноса зданий используются взрывчатые вещества, что подразумевает высокий уровень ответственности. Работа производится только специально обученными инженерами-взрывотехниками в соответствии с проектом взрывных работ и нормативными документами. Из плюсов можно отметить скорость проводимых работ, однако данный способ сноса зданий практически не применяется в России, он очень затратный, так же сложно найти специалистов в данной сфере.



Рис. 1. Взрывной метод сноса зданий и сооружений

Ручной способ. Разрушение производится вручную, с применением лопов, кувалд и кирок. Данный процесс очень трудоемкий и применяется при маленьком объеме работ, а также, в случае, если другой метод не может быть использован.



Рис. 2. Ручной метод сноса зданий и сооружений

Механизированный способ. В настоящее время механический способ сноса зданий и сооружений в России применяется наиболее часто. Разрушение производится с помощью экскаваторов с различным навесным оборудованием, что позволяет быстро произвести демонтаж зданий, при этом, не повредив при-

легающую территорию и здания, расположенные рядом. Элементы, уцелевшие в процессе сноса, измельчают на мелкие части.

Однако данный метод имеет большой минус – образование большого количества строительного мусора. Который, впоследствии невозможно использовать повторно, а также его нельзя переработать из-за сложностей при сортировке.

В дальнейшем строительный мусор попадет на полигоны ТБО, что не является рациональным [10].



Рис. 3. Разрушение ДК 50-летия Октября, г. Воронеж

На рис. 3 представлен процесс сноса ДК 50-летия Октября, в городе Воронеж, кажущая скорость привела к тому, что материал до сих пор находится на строительной площадке и она не освобождена. Дробление потребовало большого количества энергозатрат, тяжелого оборудования, которое может быть использовано в больших городах, а в малых городах применение дробильных комплексов экономически делает эти процессы дорогостоящими, кроме этого бетонные поверхности, будучи раздробленными, быстро карбонизируются, теряя при этом свою водостойкость, морозостойкость, прочность.

Мусор после попадания на свалки ТБО, в результате естественных процессов, начинает разлагаться, в последствии выделяется свалочный газ, который содержит в своем составе до 50% метана (CH₄) и остальные 50% составляет углекислый газ (CO₂) [11].

Кроме того, что мусорные свалки занимают огромные территории и дурно пахнут, из-за того, что являются источниками 12% выбросов парниковых газов в атмосферу земли. [3].

Таблица 4

Выбросы парниковых газов, связанные с отходами тысяч тонн

Млн. т /год	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Всего	69,45	78,41	81,48	83,93	86,53	89,94	92,14	94,12	96,22	98,24	100,15
захоронение твердых отходов	45,81	54,22	56,21	58,27	60,55	63,69	65,66	67,57	69,48	71,23	72,89
биологическая обработка твердых отходов	0,08	0,09	0,08	0,08	0,06	0,07	0,08	0,05	0,04	0,01	0,02
очистка жидких отходов и стоков	23,56	24,11	25,19	25,58	25,92	26,18	26,40	26,50	26,70	27,00	27,24

Поэлементный демонтаж зданий. К уменьшению количества строительного мусора, к сокращению объемов производства строительных материалов можно прийти при применении поэлементного демонтажа здания.



Рис. 4. Поэлементный демонтаж

Он включает в себя элементы механического и ручного демонтажа и состоит из нескольких этапов:

- осмотр здания специалистами
- разработка проекта
- демонтаж инженерных сетей;
- разборка деревянных конструкций;
- демонтаж несущих конструкций;
- демонтаж подвалов;
- демонтаж фундамента;
- надзор за сортировкой отходов по группам.

Данная технология может применяться при сносе промышленных предприятий, спортивных комплексов, малоэтажных домов, гостиниц, торговых центров и т. д.

Огромным плюсом этой технологии является его экологичность. Для производства 1 м³ конструкций из железобетона 5000-6000 кг топлива, для горения 1 т топлива требуется 2,3 т кислорода и в атмосферу попадает около 2,76 т CO₂[12].

С помощью результатов исследований можно сделать вывод, что после эксплуатации строительных материалов в течение 42 лет и более, их прочностные показатели увеличиваются, что еще раз доказывает эффективность поэтапного демонтажа зданий и сооружений.

Таблица 5

Прочностные показатели строительных материалов после их эксплуатации в течение 42 и более лет

	Сталь	Бетон	Железобетон	Кирпич силикатный	Кирпич керамический
Прочность при сжатии (МПа)	240-300	50-100	40-90	7,5-10	3,5-10

Уровень и качество жизни во многом зависят от устойчивого развития жилищного строительства с использованием современных ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих не только снижение затрат, но и экологическую

эффективность строительства. Обеспечивая удовлетворение потребностей граждан в недорогом, но качественном и экологически чистом жилье.

При поэлементном демонтаже зданий и сооружений можно повторно использовать строительные материалы, тем самым сократить количество строительного мусора на свалах ТБО, а также снизить стоимость строительных работ за счет повторного использования материалов.

Повторное использование строительных материалов так же позволит снизить объемы производства и выбросы CO₂ в атмосферу.

ВГТУ разработаны, запатентованы и внедрены в строительное производство технологии замкнутого цикла, которые позволяют уменьшить выбросы CO₂ и объемы ТБО [13].



Рис. 5. Дом, построенный из материалов, образовавшихся при поэлементном демонтаже зданий

Заключение. Строительная отрасль ежегодно выбрасывает в атмосферу около 38% углекислого газа

От 40-70% свалок заполнены строительным мусором, одной причиной экологических проблем вызванных строительной отраслью. В настоящее время применяется механический способ демонтажа зданий, который является нерациональным.

Необходимо применять технологию поэлементного демонтажа зданий и сооружений, поскольку после можно повторно применять строительные мате-

риалы, тем самым снизить количество строительного мусора на свалках, а также снизить выбросы CO₂ за счет снижения производства строительных материалов.

Список литературы

1. Мариев О.С. Влияние урбанизации на выбросы углекислого газа в регионах России / О.С. Мариев, Н.Б. Давидсон, О.С. Емельянова // *Journal of Applied Economic Research*, 2020. Т. 19. № 3. С. 286-309. – DOI 10.15826/vestnik.2020.19.3.014. EDN NYSEEM.
2. ИГКЭ_Доклад о кадастре за 1990-2018_ч.1 23.
3. [Электронный ресурс] <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения 19.04.22).
4. Экология и экономика: динамика загрязнения атмосферы страны в преддверии ратификации Парижского соглашения. Аналитический центр при правительстве Российской Федерации. Выпуск 52. Август 2019.
5. Zheldakov D.Yu. Reduction of greenhouse gas emissions with an increase in the durability of building materials / D.Yu. Zheldakov // *Trends in the development of science and education*, 2020. No. 61-2. P. 79-84. DOI 10.18411/lj-05-2020-37. – EDN YMNPLN.
6. Kulikova E.Y. Methodology for calculating emissions of pollutants in the production of building materials / E.Y. Kulikova // *Mining information and analytical bulletin*, 2004. No. 6. P. 41-47. EDN IYUSB.
7. Donetskova S.A. Reduction of anthropogenic impact on the ecosystem due to the secondary use of resources used in construction / S.A. Donetskova, A.I. Shkarubo, S.V. Streltsov // *Modern applied research: Materials of the Fifth National Scientific and Practical Conference*, Shakhty, March 17-19, 2021. Novocherkassk: M.I. Platov South Russian State Polytechnic University (NPI), 2021. P. 33-38. EDNELAANI.
8. Доклад Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП).

9. Fundamentals of the State policy in the field of environmental development of the Russian Federation for the period up to 2030. 30th April 2012.

10. Kleemann F., Lederer J., Aschenbrenner P., Rechberger H., Fellner J. A method for determining buildings' material composition prior to demolition // Building Research and Information. 2016. Vol. 44. Issue 1. P. 51-62. DOI: 10.1080/09613218.2014.979029.

11. Василенко Е.А. Регенерация метана, выделяемого мусорными свалками, и возможности его утилизации в Днепропетровском регионе / Е.А. Василенко, Е.А. Коровяка // Проблемы недропользования, 2014. № 1(1). С. 77-82. EDN SYODKZ.

12. Kien T.T., Thanh L.T., Lu P.V. Recycling construction demolition waste in the world and in Vietnam // The International Conference on Sustainable Built Environment for Now and the Future, Hanoi, 2013. P. 247-256.

13. Российский патент 2018 года по МПК E02D27/02.

References

1. Mariev O.S. The impact of urbanization on carbon dioxide emissions in the regions of Russia / O.S. Mariev, N.B. Davidson, O.S. Yemelyanova // Journal of Applied Economic Research, 2020. Vol. 19.No. 3. P. 286-309. DOI 10.15826/bulletin.2020.19.3.014. EDN NAISIM.

2. IGKE_DOCUMENT on the cadastre for 1990-2018_h.1 23.

3. [Electronic resource] <https://rosstat.gov.ru> (accessed 19.04.22).

4. Ecology and economics: the dynamics of air pollution in the country on the eve of the ratification of the Paris Agreement. Analytical Center under the Government of the Russian Federation. Issue 52. August 2019.

5. Zheldakov D.Yu. Reduction of greenhouse gas emissions while increasing the durability of building materials / D.Yu. Zheldakov // Trends in the development of science and education, 2020. No. 61-2. P. 79-84. DOI 10.18411/lj-05-2020-37 . - EDN IMNPLN.

6. Kulikova E.Y. Methodology for calculating emissions of pollutants in the production of building materials / E.Y. Kulikova // Mining information and Analytical Bulletin, 2004. No. 6. P. 41-47. EDN IYUSB.

7. Donetskova S.A. Reduction of anthropogenic impact on the ecosystem due to the secondary use of resources used in construction / S.A. Donetskova, A.I. Shkarubo, S.V. Streltsov // Modern applied research: Materials of the Fifth Republican Scientific and Practical Conference, Shakhty, March 17-19, 2021. Novocherkassk: South Russian State University M.I. Platov Polytechnic University (NPI), 2021. P. 33-38. EDN ELAANI.

8. Report of the United Nations Environment Programme (UNEP).

9. Fundamentals of the state policy in the field of environmental development of the Russian Federation for the period up to 2030. April 30, 2012.

10. Kleiman F., Lederer J., Aschenbrenner P., Rechberger H., Fellner J. Method for determining the composition of the material of buildings before demolition // Construction research and information. 2016. Volume 44. Issue 1. P. 51-62. DOI: 10.1080/09613218.2014.979029

11. Vasilenko E.A. Regeneration of methane released by landfills and the possibility of its utilization in the Dnipropetrovsk region / E.A. Vasilenko, E.A. Korovyaka // Problems of subsoil use, 2014. № 1(1). P. 77-82. ED. SEDKZ.

12. Kien T.T., Thanh L.T., Lu P.V. Recycling of construction waste in the world and in Vietnam // International Conference on Sustainable built environment for the present and the Future, Hanoi, 2013. P. 247-256.

13. Russianpatentof 2018 onIPCE02D27/02.

Золотухин Сергей Николаевич – канд. техн. наук, профессор кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов строительного факультета Воронежского государственного технического университета

Глотова Кристина Андреевна – студентка кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов строительного факультета Воронежского государственного технического университета

Букша Сергей Николаевич – канд. техн. наук, преподаватель кафедры изыскания и проектирования аэродромов Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

УДК 620.187:666.9

РАЗРАБОТКА СТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЖИЛЫХ ДОМОВ

И.В. Воротынецв, С.Н. Золотухин*

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

**Адрес для переписки: Воротынецв Иван Вячеславович,*

E-mail: mr.lapotb@mail.ru

В данной статье приведен пример разработки строительных технологий замкнутого цикла с повторным использованием строительных материалов, изделий и конструкций, которые были получены при поэлементном демонтаже здания ООО «ВЕГА» в г. Воронеже. Были проведены исследования прочностных показателей железобетонных ребристых плит покрытия и керамического кирпича. Решаются проблемы выброса создания строительных технологий замкнутого цикла, снижающих количество выбросов углекислого газа в атмосферу земли, объёма свалок ТБО и стоимости строительства малоэтажных зданий.

Ключевые слова: строительные технологии замкнутого цикла, поэлементный демонтаж зданий, повторное применение ж/б ребристых плит

DEVELOPMENT OF BUILDING TECHNOLOGIES OF A CLOSED CYCLE, IN THE CONSTRUCTION OF RESIDENTIAL BUILDINGS

I.V. Vorotincev, S.N. Zolotukhin*

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

**Corresponding author: Ivan V. Vorotincev, E-mail: mr.lapotb@mail.ru*

This article presents an example of the development of building technologies of a closed cycle with the reuse of building materials, products and structures, which were obtained during the element-by-element dismantling of the building of VEGA LLC in Voronezh. Studies were carried out on the strength characteristics of reinforced concrete ribbed slabs of the coating and ceramic bricks. Solving the problem of emission of creating closed-cycle building technologies that reduce the amount of carbon dioxide emissions into the earth's atmosphere, the volume of solid waste landfills and the cost of building low-rise buildings.

Keywords: *closed-loop building technologies, element-by-element dismantling of buildings, re-use of reinforced concrete ribbed slabs*

Введение. В настоящее время решения по сносу зданий осуществляются исходя из следующих факторов: приход отдельных конструкций здания в негодность по различным причинам, будь то время или какое-то физическое воздействие, дороговизна содержания здания, дороговизна его реконструкции для придания ему вида, отвечающего современным тенденция и т.д. Здания подвергаются сносу различными способами. Первый, самый распространенный. Здания бездумно сносят, нарушая целостность конструкций, материалов и изделий. Таким образом, на месте, где раньше стояло здание образуются горы строительного мусора.

Такой строительный мусор невозможно использовать в дальнейшем, в связи, с чем он вывозится на свалки ТБО. Из-за этого свалки ТБО растут с каждым годом, захватывая и приводя в негодность всё большую территория. Так же в ходе такого сноса и дальнейшей транспортировки строительного мусора, происходит выброс в атмосферу строительной пыли, приводя к загрязнению воздуха. Из-за дороговизны земли, которая необходима для свалок ТБО, а также из-за общих трендов развития строительной отрасли в сторону увеличения экологичности, можно сделать вывод, что данный метод сноса зданий себя исчерпал.

Второй способ, так называемый «умный снос», предполагает фасовку материалов по их видам, предназначению и т.п. После сортировки каменные материалы, в том числе и железобетонные конструкции, дробятся с фракционированием полученных каменных материалов.

Материалы, получаемые этим способом очень дорогие, а также имеют разную однородность и прочность. Это, безусловно, минус. В дальнейшем они могут быть использованы только при наличии специального обоснования.

Третье направление сноса – метод поэлементной разборки. Он регламентируется документами [1,2], в которых прописаны основные правила демонтажа. Однако, ввиду того, что есть замоноличенные узлы, при демонтаже могут возникнуть повреждения в виде сколов, трещин, участков оголения и локального повреждения арматуры, которые не позволяют их применить их по своему прямому назначению повторно.

В ходе исследований, которые проводятся на протяжении последних лет [3-10, 14-18], а также в рамках работ по национальным проектам «Экология» и «Доступное жилье», реализуемых сотрудниками инженерных специальностей ВГТУ, было выявлено, что фактическая прочность бетона практически всех демонтированных строительных конструкций находится на достаточно высоком уровне, и она гораздо выше прочности бетонов, которые используются сейчас во вновь строящихся зданиях и конструкциях. Этот факт позволят сделать вывод и обосновать рациональность повторного применения ранее использованных железобетонных конструкций, в качестве несъемной опалубки для перекрытий в малоэтажных зданиях и сооружениях.

Цель исследования: показать, что повторное использование ранее демонтированных ж/б элементов во вновь строящихся зданиях и сооружениях в качестве несъемной опалубки плит перекрытия рационально и эффективно.

Задачи исследования: на конкретных примерах показать возможность рационального использования ж/б конструкций повторного применения при строительстве малоэтажных зданий, в качестве несъемной опалубки плит перекрытия.

Решение описанной проблемы и инновационность разработки. Работа посвящена разработке безотходной технологии сноса зданий, сооружений и устройства перекрытий малоэтажных зданий и сооружений, с повторным использованием ж/б конструкций. В данном направлении, по похожим вопросам, проводились исследования [3-9], в 2018 году получен патент на изобретение [10]. В нём ж/б элементы были применены в конструкциях фундаментов.

В описании изобретения доказана инновационная составляющая и эффективность предлагаемых технических решений, приведены детально разработанные технология возведения и чертежи конструктивных решений сборномонолитных фундаментов. Технология разработана и опробована на строительстве малоэтажных зданий г. Воронежа, области, а также за её пределами, например, в г. Нижний Тагил. В данный момент по этой технологии возведено множество сооружений (небольшой спортивный объект, частные магазины, жилые дома в 1-2 этажа, маленькие гостиницы высотой до 3-х этажей, коттеджи и т.д.).

Фотографии процесса установки ж/б плит перекрытия в качестве несъемной опалубки приведены на рис. 1-2. Данный объект находится в г. Нижний Тагил. Стоимость 1 м³ перекрытия построенных зданий колеблется в районе 3 тыс. рублей, что в 4-6 раз дешевле в сравнении со стоимостью строительства по всем привычной технологии.



Рис. 1. Плиты перекрытия с шумоизолирующим материалом, но без арматурной сетки и каркасов



Рис. 2. Плиты перекрытия с шумоизолирующим материалом, накрытым сверху арматурной сеткой

Описание базовой технологии. Технология предполагает следующие этапы:

- осмотр зданий специалистами на предмет оценки способов их рационального сноса с выдачей рекомендаций;
- проведение экспресс анализа остаточных сроков службы однотипных групп строительных конструкций с использованием «экспертных методов» прогноза [9, 14-18];
- принятие решения о возможности повторного использования отдельных групп однотипных демонтируемых конструкций;
- инженерный надзор за сносом и сортировкой образующихся строительных материалов и конструкций;
- определение физико-механических и экологических характеристик материалов, образовавшихся в результате разборки зданий;
- проектирование и строительство конструкций перекрытий малоэтажных зданий, с применением ранее использованных строительных материалов и конструкций.

Технология же возведения перекрытий с повторным использованием ж/б ребристых плит очень проста. Плиты перекрытия укладываются на несущие стены с зазором в 100-120мм. Сверху на плиты укладывается шумоизоляционный материал. Очень часто используется обычные шлакоблоки или пенопласт. Затем в зазор между плитами устанавливаются арматурные каркасы, а сверху кладется арматурная сетка. После чего конструкция заливается смесью, толщина которой составляет 0,2м. В итоге мы получаем надежную, прочную плиту перекрытия.

Заключение. Снос зданий по технологиям, распространенным сейчас в нашей стране, экономически и экологически не выгоден. Наша разработка, в отличие от широко применяемых технологий является безотходной и позволяет:

- решить экологические проблемы утилизации железобетонных ребристых плит, за счет их повторного использования в конструкциях перекрытий, без необходимости их транспортировки на свалки ТБО;
- повысить скорость установки перекрытий;
- резко снизить материалоемкость и стоимость устройства перекрытий в малоэтажном строительстве.

Список литературы

1. ВСН 39-83(р). Инструкция по повторному использованию изделий, оборудования и материалов в жилищно-коммунальном хозяйстве/ Госгражданстрой. М.: Стройиздат, 1985. 32 с.
2. СП XXX.1325800.2016. Здания и сооружения. Правила производства при демонтаже и утилизации. (Проект). М., 2016. 57 с.
3. Сова Н.С., Алирзаев И.Ш. Применение систематизированных табличных форм в техническом обследовании зданий и сооружений//Научный вестник ВГАСУ. Материалы межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии в экологии». 2010. №1. С. 93-95

4. Сова Н.С., Алирзаев И.Ш. Методика применения систематизированных табличных форм в техническом обследовании зданий и сооружений // Строительная механика и конструкции. 2011. № 2. С. 107-116.

5. Золотухин С.Н., Гайкалов А.Н., Куджику Т. Опыт строительства малоэтажных энергоэффективных зданий // Материалы 15-ой межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии. Экология». 2012. С. 169-173.

6. Золотухин С.Н., Золотухина М.С. Использование отходов строительных материалов в дизайне спортивно-оздоровительного комплекса // Материалы 14-ой межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии. Экология». 2011, С. 58-63.

7. Золотухин С.Н., Лобосок А.С. Повторное использование строительных материалов и отходов производства в малоэтажном строительстве // Материалы 14-ой межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии. Экология». 2011. С. 63-67.

8. Золотухин С.Н., Сысоева Е.В. Вопросы энергосбережения при выборе конструктивных схем каркасов многоэтажных зданий г. Воронежа // Материалы 13-ой межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии. Экология». 2010. С. 148-150.

9. Шмелев Г.Д., Головина Н.В. Ретроспективное прогнозирование технического состояния строительных конструкций // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2017. №3. С. 93-108.

10. Патент РФ RU 2671 019 С1. Способ возведения стенчатого фундамента с использованием ребристых плит перекрытий (покрытий) / Колодяжный С.Н., Золотухин С.Н., Абраменко А.А., Кукина О.Б., Вязов А.Ю., Лобосок А.С., Милованова В.И. Заявл. №2017118843, 30.05.2017; опубл. 29.10.2018, Бюл. № 31, 19 с.

11. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. М., Госстрой России. 2011. 43 с.

12. ГОСТ 18105-2010. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. М., Стандартинформ. 2018. 12 с.
13. СП 63.13330.2012. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М., Минрегион России. 2012. 157 с.
14. Шмелев Г.Д. Экспертный метод прогнозирования остаточного срока службы строительных конструкций по их физическому износу // Строительство и реконструкция. 2014. № 3 (53). С. 31-39.
15. Шмелев Г.Д., Головина Н.В. Прогнозирование надежности и остаточного ресурса строительных конструкций с использованием метода линеаризации в условиях ограниченной статистической информации//Сборник научных трудов SWorld. 2012. Т.6, № 4. С. 100-107.
16. Shmelev, G.D. Express evaluation of the probability of unforgettable work of construction structures / G.D. Shmelev, A.N. Ishkov // Всб. European Scientific Conference победителей IV Международной научно-практической конференции: в 3 ч., 2017. С. 41-43.
17. Шмелев Г.Д., Федотова М.И. Использование случайных функций и процессов в комбинированной интегральной методике прогнозирования остаточных сроков службы строительных конструкций // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 1 (39). С. 128-137.
18. Shmelev G.D. Complex methodology of the calculated substantiation of the residual resource of construction structures // World science: problems and innovations: сборник статей XI международной научно-практической конференции. в 2 ч. Ч. 1. Пенза: МЦНС «Наука и просвещение». 2017. С. 79-81.

References

1. VSN 39-83(p). Instructions for the reuse of products, equipment and materials in housing and communal services/ Gosgrazhdan-stroy. М.: Stroyizdat, 1985. 32 p.

2. SP XXX.1325800.2016. Buildings and structures. Production rules for dismantling and disposal. (Project).M., 2016.57 p.
3. Sova N.S., Alirzaev I.S. Application of systematized tabular forms in technical inspection of buildings and structures//Scientific Bulletin of VGASU. Materials of the interregional scientific and practical conference "High technologies in ecology".2010. No. 1. P. 93-95.
4. Sova N.S., Alirzaev I.S. Method of application of systematized tabular forms in technical inspection of buildings and structures // Structural mechanics and structures. 2011. No. 2. P. 107-116.
5. Zolotukhin S.N., Gaikalov A.N., Kudzhiku T. Experience in the construction of low-storey energy-efficient buildings // Materials of the 15th interregional scientific and practical conference «High technologies. Ecology». 2012. P. 169-173.
6. Zolotukhin S.N., Zolotukhina M.S. The use of construction materials waste in the design of a sports and recreation complex // Materials of the 14th interregional scientific and practical conference «High technologies. Ecology». 2011. P. 58-63.
7. Zolotukhin S.N., Lobosok A.S. Reuse of building materials and industrial waste in low-rise construction // Materials of the 14th interregional scientific and practical conference «High technologies. Ecology». 2011. P. 63-67.
8. Zolotukhin S.N., Sysoeva E.V. Questions of energy saving when choosing structural schemes of frames of multi-storey buildings in Voronezh // Materials of the 13th interregional scientific and practical conference «High technologies. Ecology». 2010. P. 148-150.
9. Shmelev G.D., Golovina N.V. Retrospective forecasting of the technical condition of building structures // Housing and communal infrastructure. 2017. No. 3. P. 93-108.
10. RF Patent RU 2671 019 C1. Method of construction of a wall foundation using ribbed slabs (coverings) / Kolodyazhny S.N., Zolotukhin S.N., Abramenko A.A., Kukina O.B., Elm A.Yu., Lobosok A.S., Milovanova V.I. Application No.2017118843, 30.05.2017; publ. 29.10.2018, Bul. No. 31. 19 p .

11. SP 13-102-2003. Rules of inspection of load-bearing construction structures of buildings and structures. M., Gosstroy of Russia. 2011. 43 p.
12. GOST 18105-2010. Concrete. Rules of strength control and evaluation. M., Standartinform. 2018. 12 p.
13. SP 63.13330.2012. SNiP 52-01-2003. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions. M., Ministry of Regional Development of Russia. 2012. 157 p
14. Shmelev G.D. Expert method of forecasting the residual service life of building structures by their physical wear // Construction and reconstruction. 2014. No. 3 (53). P. 31-39.
15. Shmelev G.D., Golovina N.V. Forecasting the reliability and residual life of building structures using the linearization method in conditions of limited statistical information // Collection of scientific papers SWorld. 2012. Vol.6, No. 4. P. 100-107.
16. Shmelev G.D. Express evaluation of the probability of unforgettable work of construction structures / G.D. Shmelev, A.N. Ishkov // In the collection of the European Scientific Conference of the winners of the IV International Scientific and Practical Conference: at 3 o'clock, 2017. P. 41-43.
17. Shmelev G.D., Fedotova M.I. The use of random functions and processes in the combined integral methodology of forecasting the remaining service life of building structures // Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2017. No. 1 (39). P. 128-137.
18. Shmelev G.D. Complex methodology of the calculated substance of the residual resource of construction structures // World science: problems and innovations: collection of articles of the XI International Scientific and practical Conference. at 2 p.m. 1. Penza: ICNS «Science and Education». 2017. P. 79-81.
13. SP 63.13330.2012. SNiP 52-01-2003. Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii. Osnovnyyepolozheniya. [Set of rules 63.13330.2012. Building regulations 52 - 01 - 2003. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions]. Moscow, Ministry of Regional Development of Russia, 2012. 157 p. (in Russian).

14. Shmelev G.D. [Expert method for predicting the residual life of building structures according to their physical deterioration]. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya* [Construction and Reconstruction], 2014. № 3 (53), P. 31-39 (in Russian).

15. Shmelev G.D., Golovina N.V. [Prediction of reliability and residual life of building structures using the linearization method in conditions of limited statistical information]. *Sbornik nauchnyh trudov SWorld* [Collected scientific works of SWorld], 2012, vol. 6, № 4. P. 100-107. (in Russian).

16. Shmelev G.D. Express evaluation of the probability of unforgettable work of construction structures / G.D. Shmelev, A.N. Ishkov // In *Sat. European Scientific Conference of the winners of the IV International Scientific and Practical Conference: at 3 part*, 2017. P. 41-43.

17. Shmelev G.D., Fedotova M.I. [The use of random functions and processes in the combined integrated method of predicting the residual life of building structures]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [News of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering], 2017, no 1 (39). P. 128-137 (in Russian).

18. Shmelev G.D. Complex methodology of the calculated substantiation of the residual resource of construction structures // *World science: problems and innovations.*: In 2 hours. Part 1. Penza: ICNS «ScienceandEnlightenment», 2017. With.P. 79-81.

Воротынцев Иван Вячеславович – студент группы МИОФ-211 строительного факультета Воронежского государственного технического университета

Золотухин Сергей Николаевич – канд. техн. наук, профессор кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов строительного факультета Воронежского государственного технического университета

ПЕРСОНАЛИИ

90 лет академику Юрию Александровичу Золотову



Выдающемуся русскому ученому академику Юрию Александровичу Золотову 4 октября 2022 г исполняется 90 лет. Он родился в селе Высоковское (ныне г. Высоковск) Клинского района Московской области, школу заканчивал с золотой медалью уже в селе Рогачево, который был районным центром в Московской области. Отец Юрия Александровича закончил Тимирязевскую академию и работал сельским агрономом. О будущем академике, детство которого прошло в трудовой сельской семье, можно сказать, что он *self-made man*, т.е. человек обязанный всем самому себе, добившийся успехов собственными силами. В химию Юрий влюбился не сразу. В Москву он ехал с желанием поступить на исторический факультет МГУ, но по дороге передумал и подал заявление на Химический факультет. Впрочем, практика по неорганической химии на первом курсе ему не понравилась, и он попросил перевести его на Исторический факультет, однако получил отказ. На пятом курсе его распределили на кафедру аналитической химии, и руководителем дипломной работы стал выдающийся химик-аналитик академик И.П. Алимарин. Уже после окончания университета Юрий Александрович поступил к нему в аспирантуру в ГЕОХИ

им. Вернадского АН СССР, где ему была предложена тема по выделению нептуния из смесей с другими радиоактивными элементами. Нептуния в институте не было и ему пришлось выделять его из смесей радиоактивных элементов, в которых он был в небольшом количестве и быстро распадался. Работа над кандидатской диссертацией была завершена в 1959 году и была успешно защищена. Много достижений в исследовательской работе Юрия Александровича связаны с применением жидкостной экстракции. В голову молодого ученого пришла счастливая мысль исследовать взаимное влияние компонентов при экстракции, и она была им реализована. В 1966 г. Юрий Александрович успешно защитил докторскую диссертацию на тему «О теоретических основах применения экстракции в аналитической химии».

Большой период его жизни связан с ГЕОХИ им. В.И. Вернадского, где начинал свою деятельность аспирантом, а в конце работал заместителем директора по науке. Этому институту был доверен анализ лунного грунта и образцов с поверхности Венеры и Марса. Для этого было закуплено разнообразное уникальное оборудование, что дало возможность молодому ученому освоить всю палитру химического анализа.

С 1989 г. по 1999 г. Юрий Александрович – директор Института общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова, в котором он также руководил лабораторией химии платиновых металлов. В 1970 г. он был избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 1987 г. – академиком. Большой заслугой Юрия Александровича является деятельность в качестве председателя Научного совета РАН по аналитической химии. Не будет преувеличением сказать, что работа совета является особенно плодотворной, способствующей координации научной и практической работы химиков-аналитиков страны. С 1988 г. Юрий Александрович главный редактор «Журнала аналитической химии». Ему оказана честь работать в редколлегиях многих авторитетных международных журналах, таких как *Analytica Chimica Acta*, *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, *Solvent Extraction and Ion Exchange*, *Analytical Sciences* и др.

Особое место в его жизни и деятельности занимает Московский государственный университет. В 1970 году он вернулся в алматы на должность профессора кафедры аналитической химии, а в 1989 г. был избран её заведующим. Как педагог Ю.А. Золотов подготовил 9 докторов наук и 60 кандидатов наук.

С особенной любовью Юрий Александрович относится к истории и методологии науки. Им были организованы Всесоюзные конференции по истории и методологии аналитической химии в 1990 и 1999 годах, которые инициировали интерес химиков-аналитиков к достижениям науки.

Золотов Ю.А. лауреат Государственных премий 1972, 1989, 2000 годов, кавалер целого ряда орденов. В несомненном писательском таланте Юрия Александровича достаточно убедиться, прочитав опубликованные в 1988 г. в журнале «Знамя» в номерах 5 и 6 «Семь американских тетрадей», которые в 1989 г. вышли отдельной книгой в издательстве «Советская Россия». Есть книги, написанные с юмором, такие как «Химики еще шутят», а есть доступные и интересные для широкого круга читателей, как «Химики в других областях или на других Олимпах». Книга «Химический анализ для всех, всех, всех» читается на одном дыхании и автор её талантливо проиллюстрировал. Подобные книги, несомненно, способствуют привлечению молодёжи в науку. Всего Юрий Александрович написал около 60 книг. Секрет успехов Юрия Александровича в необыкновенной любознательности. Он объехал более 40 стран, но при этом не забыл и наш Воронеж, в котором проводил научные конференции, посетил исторические места города и описал их в своих воспоминаниях.

Прожить активно до 90 лет это уже большое искусство. Для этого требуется не только вести здоровый образ жизни, уметь не только работать, но и отдыхать. Ю.А. Золотов проводит выходные в загородном доме, куда перевез библиотеку и где можно заниматься на свежем воздухе писательским творчеством. Желаем Юрию Александровичу хорошего здоровья, долгих лет на благо российской науки и образования!

К 65-летию профессора Рудакова Олега Борисовича



Рудакову Олегу Борисовичу, главному редактору журнала «Химия, физика и механика материалов», заведующему кафедры химии и химической технологии материалов ВГТУ, известному химику-аналитику и материаловеду, 16 октября 2017 г. исполняется 65 лет. Его краткая биография представлена в персоналии [1]. О себе, о своем жизненном пути и становлении как ученого Рудаков Олег Борисович написал в своих публикациях[2-3]. Напомним, что Олег Борисович родился в р. п. Павловск Алтайского края. В 1980 г. окончил с отличием Алтайский госуниверситет (г. Барнаул) по специальности «Химия». Ученую степень кандидата химических наук он получил после очной аспирантуры в Институте органической химии им. Н.Д. Зелинского АН СССР (Москва) в 1986 г., а в 2005 г. Рудаков О.Б. защитил диссертацию «Экспертная система для жидкостной хроматографии: принципы построения и применение в химическом анализе», получив степень доктора химических наук. В 2006 г. он получил звание профессор по кафедре химии. Тематика научных трудов Рудакова О.Б. –

контроль и диагностика качества и безопасности пищевых продуктов, технических и строительных материалов, исследование структуры материалов и их физико-химических свойств, разработка методик анализа и прогнозирования свойств материалов, совершенствование способов определения состава химической, бытовой и пищевой продукции, экотоксикантов методами жидкостной и газовой хроматографии, спектрофотометрии и цифровой цветометрии. Значительная часть его исследований посвящена изучению физико-химических свойств индивидуальных и смешанных растворителей, оптимизации составов экстрагентов и элюентов, применяемых в экстракционно-хроматографических методах химического анализа органических соединений. Кроме этого, Рудаков О.Б. посвятил часть своих разработок проблемам пожаровзрывобезопасности. Рудаков О.Б. отличается высокой публикационной активностью, в списке его трудов более 1000 публикаций, более 30 патентов РФ. Он называет своей миссией просветительскую деятельность, считая себя «научным журналистом», вместе с тем у него около 50 статей проиндексированы в международных библиографических базах, в списке его трудов 50 монографий и учебных пособий. Только за последние 5 лет опубликовано 175 публикаций с его соавторством. Рудаков О.Б. активно участвовал в подготовке фундаментального многотомного издания - Большой Российской Энциклопедии, в которую он написал 200 статей по химической тематике. В настоящее время он является зам. главного редактора научного журнала «Сорбционные и хроматографические процессы», главным редактором журнала «Химия, физика и механика материалов», членом редакционного совета журналов «Строительные материалы», «Проблемы управления рисками в техносфере». Под его научным руководством успешно выполнено 8 кандидатских работ, он осуществлял научное консультирование 3 докторантов, успешно защитивших свои докторские диссертации. Таким образом, Рудаков О.Б. создал свою научную школу по экстракционно-хроматографическим методам. Деятельность этой школы описана в книге [4], посвященной 150-летию со дня рождения великого ученого, изобретателя хроматографии Цвета М.С.

За значительные заслуги в сфере образования и многолетний добросовестный труд Минобрнауки России присвоило в 2017 г. Рудакову О.Б. почетное звание «Почетный работник сферы образования Российской Федерации».

Коллеги, ученики, друзья поздравляют Олега Борисовича с Юбилеем, желают здоровья и творческих успехов!

Список литературы

1. Селеменев В. Ф., Калач А. В., Перцев В. Т. Рудаков Олег Борисович (К 60-летию)// Химия, физика и механика материалов. 2017. № 2(15). С. 121-124.
2. Рудаков О.Б. «Химическая добавка» в строительное материаловедение. В кн. «90 лет строительного образования в Воронежской области. ВИСИ-ВГАСА-ВГАСУ-ВГТУ». Воронеж: Новый взгляд. 2020. С. 262-265.
3. Рудаков О. Б. День химика. Роль учителя в профессиональном становлении // Химия, физика и механика материалов. 2021. № 2(29). С. 98-114.
4. Наследие М.С. Цвета в трудах воронежских химиков: Монография. В 2-х томах / Под ред. В.Ф. Селеменева, О.Б. Рудакова. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2021. 330 с.

References

1. Selemenev V. F., Kalach A.V., Pertsev V. T. Rudakov Oleg Borisovich (To the 60th anniversary) // Chemistry, physics and mechanics of materials. 2017. No. 2(15). P. 121-124.
2. Rudakov O.B. «Chemical additive» in building materials science. In the book «90 years of construction education in the Voronezh region.VISI-VGASA-VGASU-VGTU». Voronezh: A new look. 2020. P. 262-265.
3. Rudakov O.B. Chemist's Day. The role of a teacher in professional development // Chemistry, physics and mechanics of materials. 2021. No. 2(29). P. 98-114.

4. The legacy of M.S. Tsvetov in the works of Voronezh chemists: Monograph. In 2 volumes / Edited by V.F. Selemenev, O.B. Rudakov. Voronezh: Publishing and Printing Center «Scientific Book», 2021. 330 p.

Селеменев В.Ф., Полянский К.К., Калач А.В., Небольсин В.А., Никитина С.Ю.

**К 75-летию со дня рождения профессора
Игоря Степановича Суровцева**



24 июля на Аллее Славы Коминтерновского кладбища г. Воронежа состоялись митинг и панихида, посвященные открытию памятника на могиле видного ученого, педагога и общественного деятеля И.С. Суровцева, где собрались родные и близкие, друзья и соратники, благодарные ученики, которые с большой теплотой вспоминали Игоря Степановича. Игорь Степанович Суровцев родился 24 июля в 1947 году в Вольске Саратовской области в семье офицера-фронтовика. Его не стало 21 марта 2020 г.

Вспомним основные вехи его жизни. В 1970-1995 годы он работал в ВГУ (инженер кафедры физики полупроводников и микроэлектроники, старший научный сотрудник, заведующий отраслевой НИЛ, заместитель декана факультета, заместитель проректора по НИЧ, проректор по экономике и программам развития). С 1999 года Суровцев И.С. работал в администрации Воронежской области: главный государственный советник, председатель комитета по работе высших и средних специальных учебных заведений, с 2001 – начальник управ-

ления профессионального образования и науки. Одновременно состоял членом планово-бюджетной комиссии (1997-2001) и научно-технического совета (1999-2001) Минобразования РФ, входил в состав руководящих советов по научным программам («Государственная поддержка региональной научно-технической политики высшей школы и развитие ее научного потенциала», 2000-2001; «Инновационная деятельность высшей школы», 2001-2002), был членом экспертной комиссии Комитета по науке, образованию, здравоохранению и экологии Совета Федерации РФ (2000-2002). С октября 2002 по 2012 год – ректор Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. С 2012 года – президент Воронежского архитектурно-строительного университета, заведующий кафедрой инноватики и строительной физики. С 2010 по 2015 годы он являлся советником Российской академии архитектуры и строительных наук. Избирался депутатом Воронежской областной думы V созыва, был председателем комитета по труду и социальной защите населения, членом комитета по образованию и молодежной политике, был председателем Общественной палаты Воронежа (2011-2015), членом Общественной палаты Воронежской области. Таким образом, пройдя путь от инженера до ректора ВГАСУ, успешно защитив кандидатскую и докторскую диссертации, Игорь Степанович упорно и целеустремленно совершенствовал своё профессиональное мастерство. Педагогическая деятельность Игоря Степановича в ВГУ, а потом и во ВГАСУ отличалась тем, что под его руководством студенты приобретали разносторонние знания и становились настоящими профессионалами, а молодые преподаватели оттачивали своё мастерство и достигали значительных результатов. Его научные изыскания в области физического материаловедения и экономики высшей школы получили широкое признание у отечественных ученых и работников высшей школы. Его исследования опубликованы в 273 научных работах, монографиях, учебниках и патентах на изобретения. Подготовленные им многочисленные труды, стали основой целой научной школы, обогатили российскую техническую науку. Под его научным руководством и научным консультированием подготовлено 14 кандидатов наук и 2 доктора наук. Благодаря самоотвержен-

ному служению своему делу Игоря Степановича Суровцева Воронежский государственный архитектурно-строительный университет под его руководством (2002-2012 гг.) в течение четырех лет сохранял позиции одного из лидеров среди строительных вузов России.

Трудовые достижения и успехи И.С. Суровцева неоднократно отмечались различными наградами и почетными званиями: заслуженный работник высшей школы РФ; почетный работник высшего профессионального образования РФ; почетный работник науки и техники РФ; почетный гражданин г. Воронежа и г. Борисоглебска; почетный академик Национальной академии поддержки развития образования; кавалер Ордена им. А.С. Макаренко; лауреат премии им. Шанталя Ассоциации содействия промышленности (Франция); лауреат национальной премии «Медаль трудовой славы имени П.А. Столыпина»; лауреат национальной общественной премии транспортной отрасли России «Золотая колесница»; лауреат премии «Лучший руководитель года» (2012 год). Постановлением Президиума Совета по общественным наградам Российской Федерации в 2011 году был награжден орденом «За профессионализм и деловую репутацию» III степени. И.С. Суровцев являлся советником Российской академии архитектуры и строительных наук; действительным членом (академиком) Российской академии естественных наук и Российской инженерной академии; вице-президентом Международной ассоциации строительных высших учебных заведений; председателем регионального отделения Ассоциации инженерного образования России; депутатом Воронежской областной Думы.

Более чем насыщенная общественная деятельность Игоря Степановича являлась свидетельством не только жизненного оптимизма, присущего ему, таланта, позволяющего находить нетривиальные способы обработки информации и выбора точного и взвешенного решения.

Игорь Степанович был не только крупным организатором, талантливым ученым, но и всесторонне развитой личностью. Он прекрасно рисовал, особенно любил рисовать шаржи и карикатуры, хорошо разбирался в музыке и литературе, как в прозе, так и в поэзии, писал эссе, сам сочинял афоризмы и собирал

их, был неподражаемым рассказчиком веселых историй и анекдотов, любил петь романсы. Благодаря широте своей души, харизматичности, исключительной притягательности своего характера, он пользовался любовью коллективов, в которых работал, имел большое количество настоящих друзей. Светлая память о нем навсегда останется в сердцах его коллег, учеников, соратников по общественной деятельности и друзей.

Проскурин Д.К., Рудаков О.Б., Шитикова М.В., Перцев В.Т., Подвальный С.Л.

Памяти профессора Манохина Вячеслава Яковлевича.



18.07.1942 г. – 21.08. 2022 г.

21 августа 2022 года скоропостижно скончался доктор технических наук, профессор, профессор кафедры техносферной и пожарной безопасности Манохин Вячеслав Яковлевич. В июле 2022 года Вячеславу Яковлевичу исполнилось 80 лет.

Вячеслав Яковлевич Манохин родился 18 июля 1942 года. Окончил Харьковский авиационный институт. С 1959 по 1962 год работал на заводе им. Сталина. С 1962 по 1970 гг. работал в закрытой организации «Конструкторское бюро химавтоматики». С 1970 по 1974 год проходил обучение в очной аспирантуре в МГТУ им. Баумана. В 1975 года присвоена ученая степень кандидата технических наук. С 1974 года работал в ВИСИ в должности старшего инженера НИС, доцента кафедры отопления и вентиляции. В 1978 году утвержден в учёном звании доцента. С 1975 по 1982 годы занимал должность проректора по заочному и вечернему обучению. В 2005 году присуждена ученая степень доктора технических наук, в 2006 году присвоено ученое звание профессора. С 1983 года по 2008 год заведующий кафедрой «Охрана труда», «Безопасность жизнедеятельности», в последнее время работал профессором кафедры техно-

сферной и пожарной безопасности. Долгое время являлся членом диссертационного совета по защите кандидатских и докторских диссертаций.

Научные интересы Вячеслава Яковлевича Манохина были связаны с исследованиями в области промышленной экологии и вопросами охраны труда на производстве. Занимался исследованиями снижения экологического ущерба от выбросов загрязняющих веществ, решением задач, связанных с разработкой экологически чистых технологий, разработкой систем управления и экологического мониторинга выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Отдавал свои знания и талант своим ученикам и обществу. Вячеслав Яковлевич внес большой вклад в деятельность университета, подготовку высококвалифицированных специалистов и научных кадров в области охраны труда и строительства.

Профессиональная деятельность Вячеслава Яковлевича яркий пример многолетнего добросовестного вклада в дело просвещения и науки. Вячеслав Яковлевич последовательно и настойчиво наращивал усилия по укреплению научного потенциала по достижению высоких результатов в области науки. Внес неоценимый вклад в отечественную и мировую науку в виде научных трудов в промышленной безопасности. Результаты исследований и разработок нашли широкое внедрение в практике охраны труда. Научно-педагогическая и общественная деятельность отмечены многочисленными профессиональными наградами, государственной наградой Министерства науки и высшего образования Российской Федерации: «Почетный работник высшего профессионального образования», «Ветеран труда».

Под руководством Манохина Вячеслава Яковлевича подготовлены специалисты и ученые, успешно работающих в системе российского образования. Автор более 300 научных трудов, в том числе 24 учебно-методические работы и более 20 патентов на изобретения и полезные модели.

Вячеслав Яковлевич был полным сил и энергии. Жизнелюбивый, всегда несущий в себе творческий заряд, готовый поделиться своими знаниями и идеями.

Благодарные ученики, коллеги по работе, преподаватели и сотрудники университета, все, знавшие этого замечательного человека, сохранят о Вячеславе Яковлевиче светлую память.

Яременко С.А., Головина Е.И., Рудаков О.Б., Грошев А.Г., Щербаков В.И.

Научное издание

ХИМИЯ, ФИЗИКА И МЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ

Выпуск № 3 (34), 2022

Научный журнал

В авторской редакции

*Дата выхода в свет: 31.10.2022.
Формат 60×84 1/8. Бумага писчая.
Усл. печ. л. 19,4. Уч.-изд. л. 11,7.
Тираж 35 экз. Заказ № 343
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