

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет»
(ТвГТУ)

**ВЕСТНИК
ТВЕРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**Серия «Строительство.
Электротехника и химические технологии»**

Научный рецензируемый журнал

№ 1 (5), 2020

Тверь 2020

Вестник Тверского государственного технического университета: научный журнал. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». Тверь: Тверской государственный технический университет, 2020. № 1 (5). 99 с.

Включает научные статьи, подготовленные на основе результатов исследований и экспериментальных разработок в области строительства, электротехники и химических наук, выполненных учеными и специалистами-практиками ведущих вузов и научно-исследовательских учреждений нашей страны и зарубежья. Представлены работы, соответствующие профилю издания по следующим научным отраслям: 05.23.00 Строительство и архитектура; 05.09.00 Электротехника; 05.17.00 Химическая технология.

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Регистрационный номер: ПИ № ФС77-74328 от 19 ноября 2018 года.

Индексируется в базе данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

**Вестник Тверского государственного
технического университета. Серия
«Строительство. Электротехника
и химические технологии»**

Учредитель и издатель

ФГБОУ ВО «Тверской государственный
технический университет»

Адрес редакции

170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина,
д. 22

Тел. редакции +7 (4822) 78-89-00

E-mail: common@tstu.tver.ru

Цена свободная

Дата выхода в свет 07.08.2020

Формат 60x84 1/8

Тираж 500 экз.

ISSN 2658-7459

Главный редактор

Гулятьев В.И. – д.т.н., доц.

Заместители главного редактора:

Белов В.В. – д.т.н., проф.;

Луцик В.И. – д.х.н., проф.;

Макаров А.Н. – д.т.н., проф.

Ответственный секретарь

Новиченкова Т.Б. – к.т.н., доц.

Редакционная коллегия:

Качанов А.Н. – д.т.н., проф.;

Коротких Д.Н. – д.т.н., проф.;

Косивцов Ю.Ю. – д.т.н., проф.;

Лепешкин А.Р. – д.т.н.;

Матар П.Ю. – к.т.н., доц.;

Недосеко И.В. – д.т.н., проф.;

Никольский В.М. – д.х.н., проф.;

Строкова В.В. – проф. РАН, д.т.н., проф.;

Трещев А.А. – д.т.н., проф.;

Фишер Х.-Б. – д.-инженер;

Ясинская Н.Н. – к.т.н., доц.

**Vestnik of Tver State Technical
University. Series «Building.
Electrical engineering and chemical
technology»**

Founder and Publisher

Federal State Budget Educational Institution of
Higher Education, Tver State Technical
University

Address

22, embankment of Afanasiy Nikitin, 170026,
Tver, Russia

Tel. +7(4822)78-89-00

E-mail: common@tstu.tver.ru

Open price

Release Date 07.08.2020

Format 60x84 1/8

Printing run 500 copies

ISSN 2658-7459

Editor-in-Chief

Gul'tyaev V.I., d.t.s., Assoc. Prof.

Vice Editor-in-Chief

Belov V.V. – d.t.s., Prof.;

Lucik V.I. – d.c.s., Prof.;

Makarov A.N. – d.t.s., Prof.;

Executive Secretary

Novichenkova T.B. – k.t.s., Assoc. Prof.

Editorial team

Kachanov A.N. – Dr. of Technical Sciences.,
Prof.;

Korotkih D.N. – Dr.t.s., Prof.;

Kosivcov Y.Y. – d.t.s., Prof.;

Lepeshkin A.R. – d.t.s.;

Matar P.Y. – k.t.s., assoc. prof.;

Nedoseko I.V. – d.t.s., Prof.;

Nikol'skij V.M. – d.c.s., Prof.;

Strokova V.V. – prof. RAS., d.t.s., Prof.;

Treshchev A.A. – d.t.s., Prof.;

Fisher H.-B. – d.-ingineer;

Yasinskaya N.N. – k.t.s., Assoc. Prof.;

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

<i>Белов В.В., Смирнов М.А., Цыбина Р.З.</i> Наномодифицированный мелкозернистый бетон с улучшенными эксплуатационными свойствами.....	7
<i>Гультияев В.И., Лобзин И.Н.</i> Анализ методик расчета приведенного сопротивления теплопередаче оконных систем входных групп.....	13
<i>Карцева В.В.</i> Идентификация объектов недвижимости для цели налогообложения.....	18
<i>Петропавловская В.Б., Завадько М.Ю.</i> Повышение эффективности использования отходов пылеочистки базальтовых производств.....	25
<i>Сизов Ю.В., Рочева Е.В., Шанин А.П., Герасименко А.Р.</i> Об особенностях металлодеревянных двутавровых балок.....	33
<i>Федоров В.В., Федоров М.В., Левиков А.В., Ханыгин Д.А.</i> Оптимизация воздушно-теплового режима реконструируемых зданий.....	38
<i>Хегай В.К., Гультияев В.И., Чурюмов В.Ю., Савич В.Л.</i> О методах определения собственных колебаний объектов	44

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

<i>Маринова С.В.</i> Задачи проектирования интеллектуальных систем учета как инструмент для принятия решений их внедрения и оценки эффективности	54
<i>Маринова С.В.</i> Стратегические возможности механизма ценозависимого снижения потребления	63
<i>Шум Ал.Ан., Ветошкин А.М., Шум Ан.Ал.</i> О центрах симметрии функции трех переменных	71

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Куляев П.В., Дыгас Е.А., Кондратьев К.А., Ларионова Е.С.

Мелкозернистый карбонатный бетон с повышенной вязкостью

разрушения 79

Марущак А.С., Ольшанский В.И., Жерносек С.В. Исследование процесса

пропитки текстильных материалов в условиях воздействия

ультразвуковых колебаний..... 83

Семеенков С.Д., Копылова Т.С., Семеенков Д.С. Влияние условий

термообработки на качество плащевых тканей, обработанных

в псевдооживленном слое инертного теплоносителя 92

CONTENTS

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

<i>Belov V.V., Smirnov M.A., Tsybina R.Z.</i> Nanomodified fine-grained concrete with improved operational properties.....	7
<i>Gulyaev V.I., Lobzin I.N.</i> Analysis of calculation methods of the reduced resistance of heat transfer of window systems of entrance groups.....	13
<i>Kartseva V.V.</i> Identification of the property for tax purposes.....	18
<i>Petropavlovskaya V.B., Zavadko M.U.</i> Improvement of efficiency of use of waste dust cleaning of basalt production.....	25
<i>Sizov Y.V., Rocheva E.V., Shanin A.P., Gerasimenko A.R.</i> About the features of metal wooden double-tee girder.....	33
<i>Fedorov V.V., Fedorov M.V., Levikov A.V., Hanygin D.A.</i> Optimization of the air-heating mode reconstructed buildings.....	38
<i>Khegai V.K., Gulyaev V.I., Churyumov V.Y., Savich V.L.</i> About methods for determining own vibrations of objects	44

ELECTRICAL ENGINEERING

<i>Marinova S.V.</i> Smart metering system design tasks as a decision tool to implementation and efficiency mark	54
<i>Marinova S.V.</i> Strategic capabilities of the demand response mechanism	63
<i>Shum Al.An., Vetoshkin A.M., Shum An.Al.</i> About the centers of symmetry of a function of three variables	71

CHEMICAL TECHNOLOGY

<i>Kulyaev P.V., Dygas E.A., Kondratyev K.A., Larionova E.S.</i> Nanomodified fine-grained concrete with improved operational properties.....	79
<i>Marushchak A.S., Olshanskii V.I., Zhernosek S.V.</i> Research of the process of impregnation of textile materials under the conditions of exposure to ultrasonic oscillations	83
<i>Semeenkov S.D., Kopylova T.S., Semeenkov D.S.</i> Influence of heat treatment conditions on the quality of raincoat fabrics treated in a fluidized bed of an inert coolant.....	92

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА



УДК 624.07.6

НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

В.В. Белов, М.А. Смирнов, Р.З. Цыбина

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

Аннотация. Разработаны новые способы повышения эффективности мелкозернистого бетона путем модификации его структуры комплексным наномодификатором на основе водоредуцирующей добавки и метакаолина, позволяющие получить изделия архитектурно-строительного назначения из мелкозернистого бетона с классом по прочности при сжатии до В40 на основе некондиционного кварцевого песка.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, комплексная наномодифицирующая добавка, кварцевый песок, суперпластификатор С-3, метакаолин, прочность.

В настоящее время актуальным является использование, помимо тяжелого, мелкозернистого бетона в строительном производстве и строительной практике для изготовления сборных и монолитных конструкций разного назначения. Благоприятным условием для применения мелкозернистого бетона является повсеместное наличие природных песков, а также техногенных вторичных ресурсов в виде отходов дробления горных пород (по сути, дробленого песка). Доступность транспортирования бетонной смеси по трубопроводам на большую высоту (что очень важно для монолитного строительства), высокая однородность свойств, экологичность, повышенная трещиностойкость, меньшая плотность – достоинства мелкозернистых бетонных смесей и самого бетона. Применение органоминеральных добавок пластифицирующего и наномодифицирующего действия при изготовлении мелкозернистого бетона позволяет повысить прочность бетона и существенно сократить расход вяжущего при сохранении заданной прочности. При этом себестоимость мелкозернистого бетона (по сравнению с тяжелым) снижается на 10–30 % [1].

Как известно, мелкозернистые смеси (по сравнению с обычными бетонными) обладают повышенной вязкостью и пониженной подвижностью при одинаковом водоцементном отношении. Количество воздуха в уплотненных жестких мелкозернистых смесях значительно больше, чем в обычных, а удаление его затруднено ввиду большой структурной вязкости мелкозернистых смесей и дисперсности воздушной среды в них.

Песок обладает более высокой пустотностью, чем смесь песка и щебня. При невысоком содержании цемента в смесях более тощих, чем 1:3 цементного теста может не хватить для обмазки зерен песка и заполнения всех пустот. В этом случае возникает дополнительный объем пор, обусловленный нехваткой цементного теста, что вызывает увеличение общей пористости бетона и снижение его прочности. Этим обстоятельством объясняется сложность получения достаточно прочных песчаных бетонов при невысоких расходах цемента, характерных для обычного бетона [2].

Устранить указанные недостатки мелкозернистых бетонов, а также улучшить их физико-механические показатели возможно с помощью разработки эффективных добавок, позволяющих использовать обычные кварцевые пески в качестве полноценного заполнителя для бетонов.

Целью работы является разработка комплексной наномодифицирующей добавки для получения эффективного мелкозернистого бетона нового поколения на основе традиционных компонентов.

В качестве компонента комплексной наномодифицирующей добавки выбран высокоактивный метакраолин – продукт дегидратации краолиновой глины (природного гидроалюмосиликата). Дегидратированный аморфный алюмосиликат является высокоактивным природным пуццоланом, т.е. гидравлически активной добавкой, способной при взаимодействии с известью $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образовывать малорастворимые низкоосновные гидроалюмосиликаты кальция. Такие свойства обуславливают превосходные строительно-технические свойства материалов, смесей и конструкций на основе бетона с добавкой высокоактивного метакраолина [3].

Применение высокоактивного метакраолина при приготовлении бетонных смесей ведет к модификации структуры цементного камня в затвердевшем бетоне, а именно к ее уплотнению. Такой эффект связан с тем, что средний медианный размер частиц метакраолина на порядок меньше размера частиц вяжущего вещества (портландцемента), что позволяет говорить об эффекте «нанобетона», т.е. заполнении пустот между частицами вяжущего частицами этой активной минеральной добавки, которые к тому же вступают в химическое взаимодействие с продуктами гидратации клинкерных минералов, а также с примесными щелочными оксидами, что и ведет к образованию дополнительных плотных малорастворимых новообразований. Следствием такого взаимодействия метакраолина с компонентами цементного камня может являться существенное уплотнение структуры формирующихся при твердении бетона гидратных новообразований, что будет способствовать повышению плотности, водонепроницаемости, коррозионной стойкости и долговечности бетона и конструкции в целом.

Поскольку результатом введения в состав бетона метакраолина является его взаимодействие с гидролизной известью (портландитом), образующейся от гидратации основных клинкерных минералов (алита и белита), то в результате твердения бетон может обладать не только повышенной плотностью и, как следствие, высокими эксплуатационными характеристиками, но и большой стойкостью к основным видам химической коррозии бетона.

Кроме того, метакраолин, обладая высокой тонкостью и, соответственно, развитой поверхностью, и работая в комплексе с ПАВ, будет коренным образом изменять реологические свойства бетонной смеси. При этом высокая дисперсность минерального порошка вызовет резкое повышение водопотребности и, как следствие, существенный спад прочности затвердевшего бетона [4]. Таким образом, использование пластификаторов при изготовлении бетонной смеси с тонкодисперсными порошками, которые выступают как активные минеральные добавки, в том числе и метакраолин, является необходимым условием.

Исходя из описанной выше научной гипотезы, для снижения водопотребности мелкозернистой бетонной смеси в комплексе с наномодифицирующей добавкой метакраолина применялся суперпластификатор С-3 на основе сульфированного нафталинформальдегида. Использование подобных высокоэффективных суперпластификаторов в комплексе с метакраолином позволяет, помимо снижения расхода цемента, добиться улуч-

шения консистенции бетонной смеси, повышения ее подвижности, удобоукладываемости, перекачиваемости, связности и устойчивости к расслоению.

Для получения мелкозернистого бетона с улучшенными эксплуатационными свойствами применялся песок Архангельского месторождения Старицкого района Тверской области I класса с модулем крупности 1,6 по ГОСТ 8736-93. В качестве вяжущего вещества использовался портландцемент ПЦ 400 Д0.

Для получения наномодифицирующего раствора добавки метакеолин затворялся подогретой до температуры 60 °С водой до образования 13%-го раствора. Через 5 суток выдержки произведенный гидрозоль подвергался декантации для отделения нерастворившихся частиц метакеолина. Готовый гидрозоль дозировался в пересчете на сухое вещество в процентах от массы вяжущего.

Для проведения исследований из мелкозернистой бетонной смеси (цементно-песчаной) при соотношении цемента и песка по массе 1:3 формовали образцы – кубы с ребром 7,07 см, которые твердели и набирали прочность в течение 7 и 28 суток при температуре 20 ± 2 °С и влажности 95–100 %.

На первом этапе работы с целью нахождения оптимального соотношения добавок метакеолина и суперпластификатора С-3 применялся метод математического планирования экспериментов. Для построения математических моделей зависимостей прочности при сжатии и других физико-механических характеристик мелкозернистого бетона использовался двухфакторный планированный эксперимент типа В- D_{12} , который позволяет получать нелинейные квадратичные модели.

В качестве варьируемых факторов были приняты:

X_1 – количество добавки золя метакеолина в пересчете на сухое вещество в процентах от массы вяжущего (от 2 до 6 %);

X_2 – количество добавки С-3 в процентах от массы вяжущего (от 0,4 до 1 %).

Полученные в результате обработки планированного эксперимента математические зависимости позволили оценить влияние состава комплексной наномодифицирующей добавки на свойства мелкозернистого бетона (рис. 1).

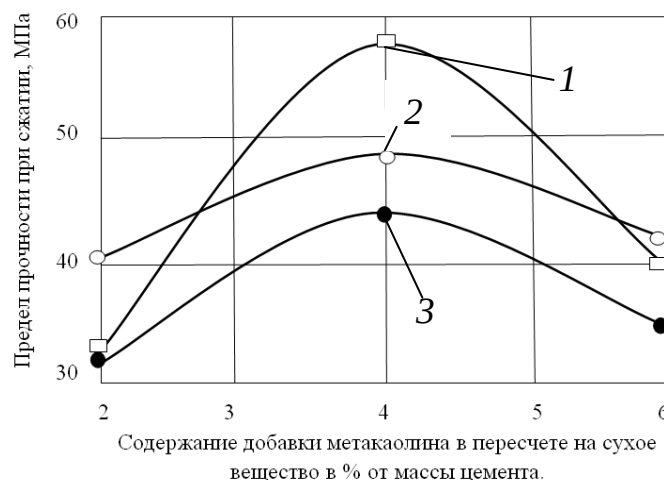


Рис. 1. Зависимости предела прочности при сжатии бетона от содержания добавки метакеолина при концентрации С-3 в процентном содержании от массы цемента:

1 – 0,7; 2 – 0,4; 3 – 1

Проанализировав зависимости предела прочности при сжатии мелкозернистого бетона от количества вводимого метаксаолина при разном количестве добавки суперпластификатора С-3 (см. рис. 1), можно сделать вывод, что максимальная прочность на сжатие достигается при введении метаксаолина в виде гидрозоля в состав мелкозернистого бетона в количестве 4 % от массы цемента при любых концентрациях добавки суперпластификатора в исследованных пределах. При этом глобальный экстремум прочности на сжатие составляет 58 МПа при концентрации С-3 – 0,7 % от массы вяжущего, что ориентировочно соответствует классу бетона по прочности при сжатии В 40. Дальнейшее повышение дозировки метаксаолина приводит к некоторому снижению прочности (от 10 до 30 %), поскольку высокая дисперсность дегидратированной глины вызывает резкое повышение водопотребности бетонной смеси и, как следствие, существенный спад прочности затвердевшего мелкозернистого бетона.

На втором этапе работы исследовалась зависимость прочности на сжатие мелкозернистого бетона от количества воды затворения при постоянных оптимальных дозировках гидрозоля метаксаолина и суперпластификатора в составе комплексной наномодифицирующей добавки.

Лучшие прочностные показатели мелкозернистого бетона (62 МПа) наблюдаются при водоцементном отношении 0,42 (рис. 2). Зависимость консистенции бетонной смеси от водоцементного отношения (рис. 2) демонстрирует значительное улучшение пластичности бетонной смеси с увеличением количества воды затворения сверх указанного значения, но имеет место соответствующее снижение прочностных показателей.

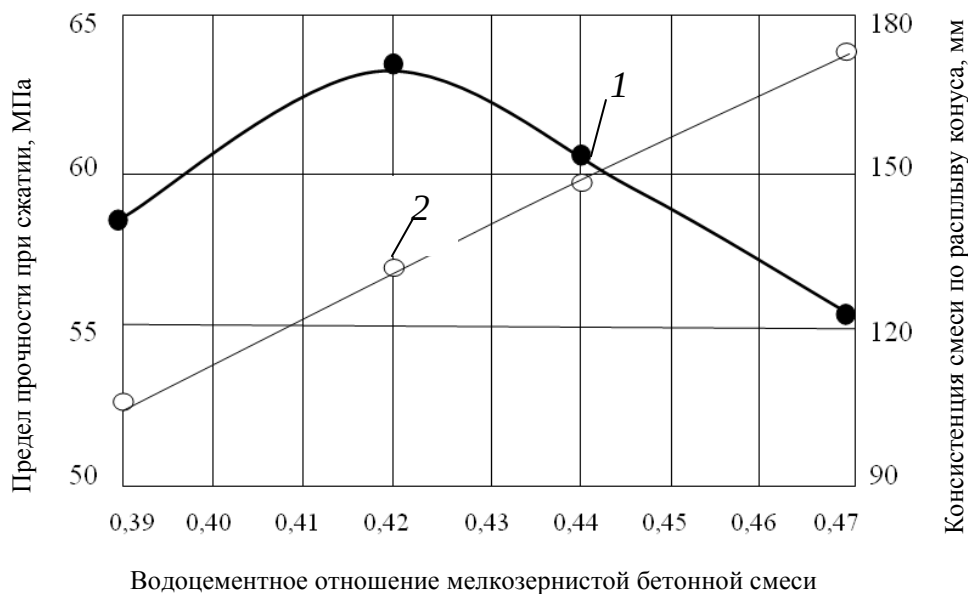


Рис. 2. Зависимости:
1 – предела прочности при сжатии мелкозернистого бетона от водоцементного отношения;
2 – консистенции бетонной смеси от водоцементного отношения

Данные рис. 2 показывают, что при использовании оптимального водоцементного отношения 0,42 консистенция бетонной смеси по распылу конуса на встряхивающем столике составляет 130 мм. При такой консистенции мелкозернистая бетонная смесь может потерять способность к саморазравниванию, а для изделий из подобной смеси трудно добиться поверхности высокого качества. Это объясняется тем, что ультрадисперсный размер частиц метакрилатов в цементных системах обуславливает высокую водопотребность и загущающую способность. Для компенсации загущающего эффекта и надежного диспергирования склонных к агрегации ультрадисперсных частиц может потребоваться введение более эффективного (но и более дорогого) гиперпластификатора на основе эфиров поликарбоксилата.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод: введение комплексной наномодифицирующей добавки, содержащей метакрилат и суперпластификатор С-3 при оптимальной дозировке за счет синергетического эффекта от модификации структуры мелкозернистого бетона разработанной комплексной наномодифицирующей добавкой приводит к значительному улучшению физико-механических свойств и повышению эффективности мелкозернистого бетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирсанова А.А. Комплексный модификатор с метакрилатом для получения цементных композитов с высокой ранней прочностью и стабильностью // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2013. Т. 13. № 1. С. 49–56.
2. Голубева О.А., Потапова Е.Н. Влияние метакрилатов на свойства белого портландцемента // *Успехи химии и химической технологии*. 2014. Т. 18. № 14. С. 28–31.
3. Лесовик Р.В. Пути повышения эффективности мелкозернистого бетона // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2007. № 7. С. 16–17.
4. Гегер В.Я. Повышение эффективности мелкозернистого бетона комплексной микродисперсной добавкой // *Вестник БГТУ им В.Г. Шухова*. 2013. № 3. С. 15–18.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

БЕЛОВ Владимир Владимирович – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, 22. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

СМИРНОВ Матвей Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

ЦЫБИНА Раиса Захаровна – доцент кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: zubina-rz@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Белов В.В., Смирнов М.А., Цыбина Р.З. Наномодифицированный мелкозернистый бетон с улучшенными эксплуатационными свойствами // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2020. № 1 (5). С. 7–12.

NANOMODIFIED FINE-GRAINED CONCRETE WITH IMPROVED OPERATIONAL PROPERTIES

V.V. Belov, M.A. Smirnov, R.Z. Tsybina

Tver State Technical University (Tver)

Abstract. New methods of increasing the efficiency of fine-grained concrete by modifying its structure with a complex nanomodifier based on a water-reducing additive and metacaolin have been developed, which make it possible to obtain architectural and construction products from fine-grained concrete with a class of compression strength to B40 based on non-standard quartz sand.

Keywords: fine-grained concrete, complex nanomodifying additive, quartz sand, C-3 superplasticizer, metacaolin, strength.

REFERENCES

1. Kirsanova A.A. Complex modifier with metacaolin to produce cement composites with high early strength and stability. *Vestnik YUrGU. Seriya «Stroitel'stvo i arhitektura»*. 2013. Vol. 13. No. 1, pp. 49–56. (In Russian).
2. Golubeva O.A., Potapova E.N. Effect of metacaolin on the properties of white portland cement. *Uspekhi himii i himicheskoy tekhnologii*. 2014. Vol. 18. No. 14, pp. 28–31. (In Russian).
3. Lesovik R.V. Ways to improve the efficiency of fine-grained concrete. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2007. No. 7, pp. 16–17. (In Russian).
4. Geger' V.Y. Increase of efficiency of fine-grained concrete with complex micro-dispersed additive. *Vestnik BGTU named V.G. Shuhova*. 2013. No. 3, pp. 15–18. (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

BELOV Vladimir Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Adviser of Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Head of the Department of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

SMIRNOV Matvey Alexandrovich – Candidate of Technical Sciences, the Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

TSYBINA Raisa Zakharovna – Associate Professor of the Department Structures and Facilities, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: zubina-rz@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Belov V.V., Smirnov M.A., Tsybina R.Z. Nanomodified fine-grained concrete with improved operational properties // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2020. No. 1 (5), pp. 7–12.

УДК 69.04

АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА ПРИВЕДЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОКОННЫХ СИСТЕМ ВХОДНЫХ ГРУПП

В.И. Гулятьев, И.Н. Лобзин

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

Аннотация. В данной статье рассматривается методика расчета приведенного сопротивления теплопередаче оконных систем входных групп при низком уровне теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Представлены расчетные методики вычисления сопротивления теплопередаче светопрозрачных систем и определен наиболее оптимальный, точный и нетрудоемкий метод.

Ключевые слова: теплозащитная оболочка объекта, сопротивления теплопередаче светопрозрачных систем, тепловые потери, светопрозрачные конструкции.

Тема расчета приведенного сопротивления теплопередаче оконных систем входных групп является актуальной, так как проблема энергосбережения является глобальной, а не только проблемой отдельной страны. Главной причиной повышенного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий является низкий уровень теплозащиты ограждающих конструкций зданий, особенно остекления, для которых тепловые потери составляют более половины подводимого к зданию тепла.

Расчеты приведенных сопротивлений теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций в соответствии с требованиями [1] нужно выполнять согласно приложению Е вышеуказанного документа или принимать в соответствии с результатами проведенных испытаний в лабораторных условиях.

Расчеты по [1, прил. Е] основаны на позиционировании элемента теплозащитной оболочки объекта как совокупности независимых друг от друга частей, каждая из которых влияет на общие тепловые потери через конструкцию.

Приведенное сопротивление теплопередаче оконных систем экспериментальным методом рассчитывается по положениям [2], согласно которым лабораторные способы вычисления сопротивления теплопередаче оконных систем заключаются:

в создании постоянного во временных интервалах перепадов температур по внешней и внутренней сторонам испытываемой системы;

измерении температуры воздуха и участков поверхностей элемента, а также теплового потока (или создающей его тепловой мощности), направляемого через элемент при стационарных условиях, и последующем расчете величины термического сопротивления элементов и сопротивления теплопередаче. При этом температура воздуха в теплой стороне климатической камеры или в приставном элементе должна быть в интервале 18–20 °С. Температура в холодной зоне климатической камеры задается в соответствии с программой испытаний с учетом предполагаемого климатического района эксплуатации входных групп и систем, но не должна превышать минус 20 °С.

Существуют различные расчетные и экспериментальные методы определения приведенного сопротивления теплопередаче для разных типов оконных систем по [3]. В [4] предложена методика вычисления приведенного сопротивления теплопередаче с использованием прикладных программных систем, согласно положениям которой требуется вычислять сопротивление теплопередаче следующих расчетных зон

светопрозрачного элемента: центральной зоны остекления, краевой зоны остекления, разделительных деталей, краевой зоны остекления около разделительных элементов, коробки и створок.

На рис. 1 изображена схема расчетных зон и элементов на примере оконной системы с базовыми размерами.

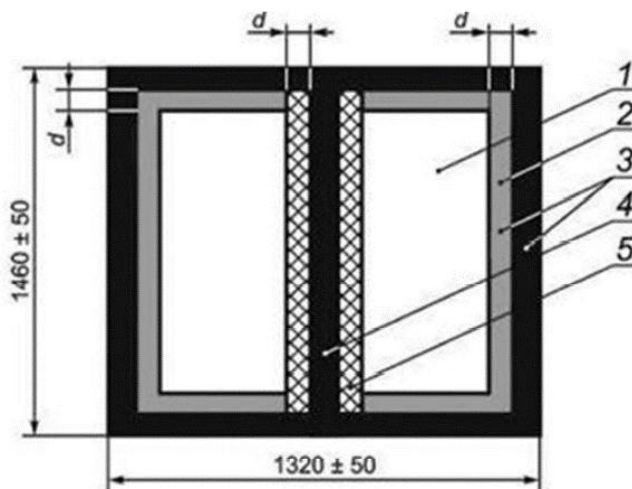


Рис. 1. Схема расчетных зон и элементов на примере оконной системы с базовыми расчетными размерами:

1 – центральная зона; 2 – краевая зона; 3 – рама и створки;
4 – разделительные детали; 5 – краевая зона у разделительных деталей [4]

Федеральный центр технической оценки продукции в строительстве разработал стандарт организации СТО 44416204-001-2008 «Расчетный метод определения приведенного сопротивления теплопередаче оконных и дверных балконных блоков» [5]. Сущность методики заключается в вычислении расчетных параметров как общей интегральной величины, характеризующей суммарные тепловые потери через остекленную часть и переплеты; при этом учитываются особенности процессов передачи тепла в краевых зонах. Краевая зона в данном случае – это линейный участок сопряжения переплетов конструкции со светопрозрачной частью оконного блока.

Общие потери тепловой энергии через оконную систему $Q_{общ}$, Вт, вычисляются по формуле

$$Q_{общ} = Q_{пер} + Q_{ост} + \Delta Q_{кр}^{ост},$$

где $Q_{пер}$ – потери тепла в переплетах, Вт;

$Q_{ост}$ – потери тепла через светопрозрачные элементы, Вт;

$\Delta Q_{кр}^{ост}$ – дополнительные потери тепла в краевых зонах на линиях сопряжения оконных переплетов со светопрозрачными элементами, Вт.

В дополнительных потерях тепла в краевых зонах учитывается прежде всего повышенные потери тепла на линиях сопряжения переплетов оконных систем с их остеклением.

Схема распределения тепловых потоков через остекление и переплеты оконных блоков с учетом краевых зон изображена на рис. 2.

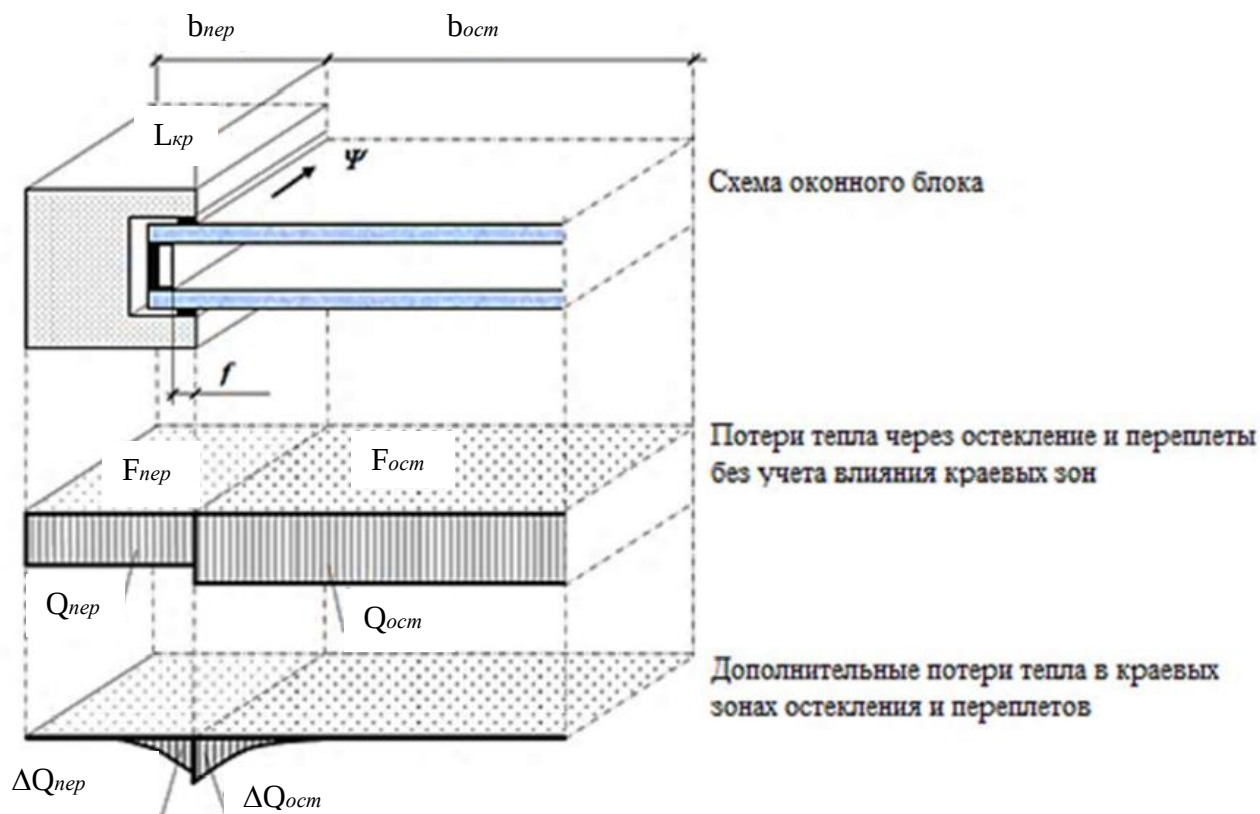


Рис. 2. Схема распределения тепловых потоков через остекление и переплеты оконных систем с учетом краевых зон [5]

На рис. 3 изображены расчетные схемы для вычисления площадей остекления, размеров переплетов и краевых зон оконных систем различных конструктивных решений.

Приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачной конструкции $R_{ок}$, $(m^2 \cdot ^\circ C)/Вт$, согласно [5] и [6], рассчитывается из соотношения

$$R_{ок} = \frac{F_{ок}}{\sum \frac{F_{св}}{R_{св}} + \sum \frac{F_{непр}}{R_{непр}} + \sum l_{\psi} \cdot \psi}$$

где $F_{ок}$ – площадь оконной конструкции, m^2 ;

$F_{св}$, $F_{непр}$ – площади непрозрачной и светопрозрачной зон оконной системы соответственно, m^2 .

$R_{св}$, $R_{непр}$ – сопротивления теплопередаче для центральной части непрозрачной и светопрозрачной зон оконной системы соответственно, $(m^2 \cdot ^\circ C)/Вт$;

ψ – коэффициент линейной теплопередачи, учитывающий взаимодействие между переплетами и остекленной частью, $Вт/(m \cdot ^\circ C)$;

l_{ψ} – длина периметра светопрозрачных зон, м.

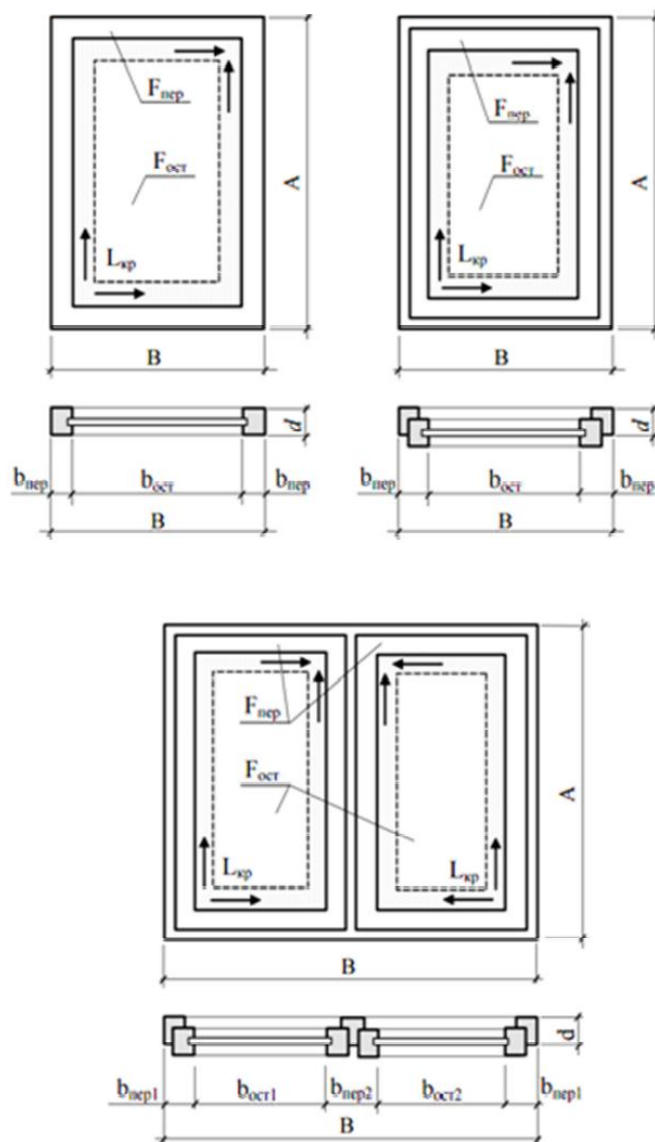


Рис. 3. Расчетные схемы для вычисления площади остекления, рамы и размеров краевых зон для оконных систем разных конструктивных решений [6]

Изучив представленные расчетные методики вычисления сопротивления теплопередаче светопрозрачных систем, можно сделать вывод, что метод, описанный в СТО 44416204-001-2008 [5], является наиболее оптимальным, точным и нетрудоемким.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: ОАО «НИЦ «Строительство». 2012. 96 с.

2. ГОСТ 26602.1-99. Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче. М.: Стандартинформ. 2000. 29 с.
3. ГОСТ 23166-99. Блоки оконные. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2001. 30 с.
4. ГОСТ Р 54861-201.1. Окна наружные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче. М.: Стандартинформ. 2012. 16 с.
5. СТО 44416204-001-2008. Расчетный метод определения приведенного сопротивления теплопередаче оконных и дверных балконных блоков. М.: ФГУ «ФЦС», 2008. 25 с.
6. ГОСТ Р 54858-2011. Конструкции фасадные светопрозрачные. Метод определения приведенного сопротивления теплопередаче. М.: Стандартинформ, 2012. 38 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ГУЛЬТЯЕВ Вадим Иванович – доктор технических наук, заведующий кафедрой автомобильных дорог, оснований и фундаментов, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: vig0@mail.ru

Лобзин Иван Николаевич – магистр, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: Ivan-lobzin@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Гультяев В.И., Лобзин И.Н. Анализ методик расчета приведенного сопротивления теплопередаче оконных систем входных групп // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2020. № 1 (5). С. 13–18.

ANALYSIS OF CALCULATION METHODS OF THE REDUCED RESISTANCE OF HEAT TRANSFER OF WINDOW SYSTEMS OF ENTRANCE GROUPS

V.I. Gulyaev, I.N. Lobzin

Tver State Technical University (Tver)

Abstract. This article discusses the methodology for calculating the reduced heat transfer resistance of window systems of entrance groups due to the low level of thermal protection of building envelopes. The article presents the calculation methods for calculating the heat transfer resistance of translucent systems and determines the most optimal, accurate and non-laborious method.

Keywords: heat-insulating shell of an object, heat transfer resistance of translucent systems, heat loss, translucent structures.

REFERENCES

1. Building by-law 50.13330.2012. Teplovaya zashchita zdaniy [Thermal protection of buildings]. Updated version of SNiP 23-02-2003. M.: OJSC «NIC «Stroitel'stvo». 2012. 96 p.
2. GOST 26602.1-99. Bloki okonnye i dvernye. Metody opredeleniya soprotivleniya teploperedache [Window and door units. Methods for determining heat transfer resistance]. M.: Standartinform, 2000. 29 p.

3. GOST 23166-99. Window blocks. General specifications [Window blocks. General specifications]. M.: Standartinform, 2001. 30 p.
4. Certification system GOST R 54861-2011. Okna naruzhnye i dvernye. Metody opredeleniya soprotivleniya teploperedache [External and door windows. Methods of determining heat transfer resistance]. M.: Standartinform, 2012. 16 p.
5. Industry standard 44416204-001-2008. Raschetnyj metod opredeleniya privedennogo soprotivleniya teploperedache okonnyh i dvernyh balkonnyh blokov [Calculated method of determining reduced heat transfer resistance of window and door balcony units]. M.: FGU «FCS», 2008. 25 p.
6. GOST R 54858-2011. Konstrukcii fasadnye svetoprozrachnye. Metod opredeleniya privedennogo soprotivleniya teploperedache. [Transparent facade structures. The method of determining the reduced resistance to heat transfer]. M.: Standartinform, 2012. 38 p.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

GULTYAEV Vadim Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Roads, Substructures and Foundations, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vig0@mail.ru

LOBZIN Ivan Nikolaevich – undergraduate, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: Ivan-lobzin@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Gulyaev V.I., Lobzin I.N. Analysis of calculation methods of the reduced resistance of heat transfer of window systems of entrance groups // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2020. No. 1 (5), pp. 13–18.

УДК 347.214.2:332.624

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ ДЛЯ ЦЕЛИ НАЛОГООБЛОЖЕНИЯ

В.В. Карцева

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

Аннотация. В статье рассмотрены вступившие в силу изменения налогового законодательства по налогообложению недвижимости. Обоснована необходимость точной идентификации объекта налогообложения. Проанализированы основные положения проекта по изменению и уточнению положений Гражданского кодекса, касающиеся идентификации объектов недвижимости. Проведено исследование теоретических и практических основ концепции единого объекта недвижимости. Выдвинуты предложения по совершенствованию процесса идентификации недвижимости для цели налогообложения.

Ключевые слова: земельный участок, недвижимость, единый объект недвижимости, неотделимые улучшения, налог на недвижимость.

ВВЕДЕНИЕ

Недвижимое имущество занимает центральное место в системе рыночных отношений. Недвижимость, являясь важнейшим товаром и капиталом в вещной форме, составляет основу национального богатства страны. Управление недвижимостью, с точки зрения максимально эффективного ее использования, требует идентификации объектов недвижимости, описания их характеристик и организации правового регулирования данной сферы экономики.

Деление имущества на недвижимое и движимое зависит от точности идентификации первого, так как в соответствии с действующим законодательством вещи, не относящиеся к недвижимости, являются движимыми.

С 01.01.2019 вступил в силу п. 1 ст. 374 Налогового кодекса в новой редакции, согласно которой организации самостоятельно определяют объекты налогообложения для уплаты налога на имущество. Несвершенство законодательства создает определенные трудности в решении данного вопроса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Были использованы материалы Гражданского (ГК РФ), Налогового, Земельного (ЗК РФ) и Жилищный (ЖК РФ) кодексов Российской Федерации, Проект поправок Минэкономразвития «О внесении изменений в части первую и вторую Гражданского кодекса Российской Федерации» от 29.10.2018, письма Федеральной налоговой службы (ФНС).

В качестве методов исследования выступили логический метод, метод научной абстракции, функциональный анализ и др.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основании ст. 130 ГК РФ к недвижимым вещам относятся (через запятую): земельные участки, участки недр, здания, сооружения, объекты незавершенного строительства и все, что прочно связано с землей и перемещение чего невозможно без несоразмерного ущерба его назначению, а также части зданий – жилые и нежилые помещения, машино-места, если их границы описаны в установленном порядке. По порядку регистрации к недвижимости отнесены и такие движимые объекты, как воздушные и морские суда, суда внутреннего плавания. Законом к недвижимости может быть отнесено и иное имущество [1]. Данное определение отражает сложившийся ранее порядок раздельного учета земельных участков и находящихся на них объектов капитального строительства.

Объектами налогообложения для организаций признается только недвижимое имущество, учитываемое в бухгалтерском учете в качестве объектов основных средств в установленном порядке, если иное не предусмотрено законом. Движимое имущество исключено из объектов налогообложения [2]. В связи с этим ФНС России ориентировала налоговые органы на проверку правильности уплаты налога на имущество. Налоговый кодекс не содержит четкого определения недвижимого и движимого имущества. Однако указано, что в этом случае нужно использовать определения, которые имеются в иных законодательных актах.

В соответствии со ст. 130 ГК РФ к недвижимости относятся:

1) объекты, определения которых раскрываются в федеральных законах: земельные участки (ст. 6 ЗК РФ) [2], жилые дома, помещения (ст. 15 ЖК РФ) [4], машино-места (ст. 1 ГК РФ) [1]

2) объекты, которые могут быть отнесены к недвижимости на основании общих признаков (таких как прочная связь с землей, невозможность перемещения без несоразмерного ущерба назначению) [1].

Вещные права на объекты недвижимости и сделки с ними подлежат государственной регистрации в Едином государственном реестре недвижимости (ст. 131 ГК РФ [1] и Федерального закона № 218 «О государственной регистрации недвижимости» [5]).

Из-за неоднозначности критериев разграничения имущества на недвижимое и движимое возникают споры по вопросу налогообложения. В особенности это касается сооружений, видов которых достаточно много, в связи с чем полная классификация отсутствует. Федеральная налоговая служба советует налоговикам принимать во внимание не только сведения Единого государственного реестра недвижимости, но и техническую документацию на объекты, т.е. регистрация объекта в указанном выше реестре не является основанием для признания имущества недвижимым [6].

В настоящее время разрабатывается законопроект по внесению изменений в ГК РФ, касающихся уточнения определения недвижимого имущества. Ответственным за разработку этого законопроекта является Минэкономразвития. До вступления в силу изменений ФНС рекомендует в целях применения гл. 30 НК РФ [2] руководствоваться критериями разграничения видов имущества, изложенными в письмах.

Целью проекта изменений в ГК РФ является введение в российское законодательство концепции единого объекта недвижимости, т.е. понятия о единой вещи, состоящей из земельного участка с неотделимыми улучшениями.

Чтобы выявить целесообразность отнесения объекта учета к недвижимости, необходимо рассмотреть, помимо наличия записи об объекте в Единый государственный реестр недвижимости, наличие признаков, подтверждающих прочную связь с землей и невозможность перемещения без несоразмерного ущерба назначению, например для объектов капитального строительства – наличие проектной документации, заключений технической экспертизы, документов технического учета и т.п. [7].

Федеральная налоговая служба рекомендует налоговым службам изучить также ряд судебных актов по вопросу отнесения имущества к той или иной категории, в частности решения по вопросу неотнесения к отдельным объектам недвижимости неотделимых улучшений земельных участков, не имеющих самостоятельного хозяйственного значения в отличие от замощения и ограждения [8]; по вопросу регистрации единой сложной вещи, имеющей неотделимые улучшения, в качестве единого объекта недвижимости и пр. [9].

На практике при установлении вида имущества необходимо руководствоваться всей совокупностью признаков и свойств: прочная связь с землей (фундамент); технологическая и физическая связь с другими недвижимыми объектами; способность выступать в гражданском обороте в качестве отдельного объекта, имеющего собственную полезность и способность приносить доход.

Гражданский кодекс не содержит четких определений понятий «здание» и «сооружение». Согласно п. 2 ч. 2 ст. 2 Федерального закона от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» «здание – результат строительства, представляющий собой объемную строительную систему, имеющую надземную и (или) подземную части, включающую в себя помещения, сети инженерно-технического обеспечения и системы инженерно-технического обеспечения и предназначенную для проживания и (или) деятельности людей, размещения производства,

хранения продукции или содержания животных» [10]. Данное определение можно сократить: «Здание – это строение, неразрывно связанное с землей и имеющее внутренние помещения для проживания и деятельности людей, содержания животных, организации производства или хранения продукции».

Законопроект по внесению изменений в ч. 1 ГК РФ вводит новую норму в ст. 287.1 ГК РФ. В этой статье здание определяется как строение, в котором могут быть образованы не менее двух помещений, в том числе признаваемых жилыми в соответствии с жилищным законодательством, и (или) машино-мест. Данную формулировку нельзя признать правильной, так как ряд зданий могут иметь только одно внутреннее помещение.

Законопроект предусматривает также расшифровку понятия «сооружение»: это объект, прочно связанный с землей, имеющий самостоятельное хозяйственное значение и самостоятельно участвующий в гражданском обороте. Более точным, на наш взгляд, будет определение сооружения как строительного объекта, неразрывно связанного с землей и предназначенного для выполнения вспомогательных и технологических функций, временного нахождения людей.

Нужно отметить, что разработчики законопроекта не обратили внимания на задачу квалификации экспертов, осуществляющих идентификацию недвижимости. Для решения данной задачи следует привлекать специалистов с инженерно-строительным образованием, так как в компетенции этих специалистов находится классификация и установление конструктивной схемы объектов учета.

Гражданский кодекс Российской Федерации, помимо отдельных объектов, относит к недвижимости предприятия как бизнес, направленный на осуществление какой-либо предпринимательской деятельности и представляющий собой имущественный комплекс, включающий недвижимое и движимое имущество (см. ст. 132 ГК РФ). В новой редакции кодекса имущество определено как «совокупность вещей, используемых для осуществления предпринимательской деятельности». Данная трактовка, по нашему мнению, может создать еще большую путаницу при разделении вещей на движимые и недвижимые.

Законопроект предлагает также ввести новую статью (134.1) в ГК РФ, регламентирующую понятие «неотделимые улучшения»; они выступат с недвижимой вещью в обороте как единое целое. Улучшения определены как составные части недвижимой вещи, которые обеспечивают или способствуют использованию данной недвижимой вещи в соответствии с ее назначением. Данное определение можно в равной степени отнести и к делимым улучшениям,

Кроме того, в разных источниках уже встречается понятие неотделимых улучшений. Так, в ГК РФ в рамках арендных отношений они определены как не приносящие вреда арендованному имуществу (ст. 623 ГК РФ). В оценке недвижимости этот термин обычно употребляется для обозначения всех природных или искусственных воздействий, влияющих на стоимость единого объекта недвижимости. Методические указания для экспертов-строителей относят к неотделимым улучшениям зданий или сооружений те улучшения, которые невозможно демонтировать без повреждения элемента (конструкции) здания/сооружения. Последствия демонтажа делимых улучшений могут быть устранены при обычном текущем ремонте. К неотделимым улучшениям относят капитальный ремонт, реставрацию, реконструкцию, перепланировку, возведение пристройки [11].

Таким образом, определение неотделимых улучшений необходимо увязать с уже имеющимися понятиями. Тем более, что до государственной регистрации незавершенный строительством объект, а также любой объект, с физической точки зрения отвечающий признакам недвижимости, которые могут установить только специалисты, предлагается считать неотделимым улучшением земельного участка.

Переход к понятию «единый объект недвижимости» требует совместного учета в Едином государственном реестре недвижимости земельных участков и зданий/сооружений независимо от их принадлежности. Именно такой подход к недвижимой вещи закреплен в Концепции развития гражданского законодательства (в п. 3.6.3) [12], а также в Концепции развития законодательства о вещном праве (см. п. 2.5.6) [13]. Данный подход упрощает введение налога на недвижимость.

Однако законодатель обращает внимание при регистрации единого объекта недвижимости на обязательное наличие у земельного участка и здания/сооружения одного собственника. В противном случае земельный участок и здание/сооружение регистрируются отдельно. Нужно отметить, что наличие разных собственников не препятствует постановке единого объекта на государственный учет с разными правообладателями его частей.

В ГК РФ существует такая конструкция как единый недвижимый комплекс (ст. 133.1). Единый недвижимый комплекс (ЕНК), представляет собой несколько зданий и сооружений, расположенных на одном земельном участке, или на разных участках, но связанных физически или технологически (ст. 133.1). В предлагаемой редакции недвижимым комплексом является совокупность земельного участка и всех зданий и сооружений, которые находятся в собственности одного лица. К ЕНК применяются правила о неделимых вещах. Комплекс объектов недвижимости, находящийся в собственности нескольких собственников, с точки зрения права, не будет являться единым. Таким образом, законодатель уходит от понятия «единый объект недвижимости» к понятию ЕНК, а от понятия ЕНК – к понятию «недвижимость с точки зрения регистрации прав», что превращает Единый государственный реестр недвижимости в Единый государственный реестр прав на недвижимость.

В ЕНК не включаются, согласно предлагаемым поправкам, линейные объекты, принадлежащие другому лицу, которое вправе зарегистрировать их как отдельный объект недвижимости без земельного участка. Данная поправка также нарушает принцип единого объекта недвижимости, к реализации которого стремиться наше законодательство. Внутренние инженерные сети неотделимы от здания/сооружения, наружные могут быть частью ЕНК, предназначенного для обслуживания множества зданий и сооружений. Разграничить и установить назначение может только квалифицированный специалист.

Кроме того, на сегодняшний день отсутствует техническая возможность составления технического плана на ЕНК. Указываются только дополнительные сведения: адрес, наименование, назначение (при их наличии). Вместо этого составляются отдельные технические планы на каждый объект недвижимости, входящий в состав ЕНК. Обязанность по описанию характеристик ЕНК лежит на кадастровых инженерах [14], не имеющих для этого достаточной подготовки.

Физическую связь с землей и технологическую связь объектов, входящих в состав ЕНК, могут установить только опытные инженеры-строители.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К идентификации и описанию объектов недвижимости для целей постановки на бухгалтерский учет и налогообложения необходимо привлекать специалистов с инженерно-строительным образованием, оговорив их персональную ответственность. Различный правовой режим частей объекта недвижимости не должен быть препятствием к характеристике единого объекта недвижимости, а должен отражаться в сведениях о правообладателях. Долю правообладателя части объекта в налоге на недвижимость могут определять государственные бюджетные учреждения по кадастровой оценке и независимые оценщики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гражданский кодекс Российской Федерации от 30.11.1994 № 51-ФЗ. URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 11.11.2019).
2. Налоговый кодекс Российской Федерации (часть вторая) № 117-ФЗ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28165/ (дата обращения: 11.11.2019).
3. Земельный кодекс Российской Федерации № 136-ФЗ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/ (дата обращения: 11.11.2019).
4. Жилищный кодекс Российской Федерации № 188-ФЗ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51057/ (дата обращения: 11.11.2019).
5. О государственной регистрации недвижимости: Федер. закон [принят Гос. Думой 03.07.2015]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_182661/ (дата обращения: 11.11.2019).
6. Определение Судебной коллегии по экономическим спорам Верховного Суда Российской Федерации от 30.09.2015 № 303-ЭС15-5520 по делу № А51-12453/2014. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=ARB&n=439460#018950565063091873> (дата обращения: 11.11.2019).
7. Письмо ФНС России от 01.10.2018 N БС-4-21/19038@ «О критериях разграничения видов имущества (движимое или недвижимое) в целях применения главы 30 Налогового Кодекса Российской Федерации». URL: <http://www.consultant.ru/> (дата обращения: 11.11.2019).
8. Постановление Федерального арбитражного суда Поволжского округа от 16.12.2008 по делу № А12-7360/08. URL: <https://www.lawmix.ru/povolzh/21845> (дата обращения: 11.11.2019).
9. Постановление Президиума ВАС Российской Федерации от 24.09.2013 № 1160/13 по делу № А76-1598/2012. URL: <https://base.garant.ru/70597324/> (дата обращения: 11.11.2019).
10. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федер. закон [принят Гос. Думой 23.12.2009]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (дата обращения: 11.11.2019).
11. Фоменко. А.Е. Отделимые и неотделимые улучшения недвижимого имущества // Теория и практика судебной экспертизы. 2018. Т. 13. № 3. URL: <https://www.tipse.ru/jour/article/viewFile/448/413> (дата обращения: 11.11.2019).
12. Концепция развития гражданского законодательства Российской Федерации [одобрена решением Совета при Президенте РФ по кодификации и совершенствованию гражданского законодательства от 07.10.2009]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95075/ (дата обращения: 11.11.2019).

13. О проекте концепции развития законодательства о вещном праве. URL: <http://privlaw.ru/soveto-kodifikacii/conceptions/konceptsiya5/> (дата обращения: 11.11.2019).
14. Письма Министерства экономического развития Российской Федерации от 14.11.2018 № 14-11456-ГЕ/18, от 23.11.2018 № Д23и-6307. URL: <https://sroboki.ru/m/31569> (дата обращения: 11.11.2019).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

КАРЦЕВА Вера Викторовна – кандидат экономических наук, доцент кафедры геодезии и кадастра, доцент кафедры автомобильных дорог, оснований и фундаментов, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: vera.v.kartseva@gmail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Карцева В.В. Идентификация объектов недвижимости для цели налогообложения // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2020. № 1 (5). С. 18–25.

IDENTIFICATION OF THE PROPERTY FOR TAX PURPOSES

V.V. Kartseva

Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The article notes the effective changes in the tax legislation on the taxation of real estate. The necessity of accurate identification of the object of taxation is substantiated. In this regard, the author analyzes the main provisions of the project to amend and clarify the provisions of the Civil Code relating to the identification of real estate. The study of theoretical and practical foundations of the concept of single property. Proposals have been put forward to improve the process of identification of real estate for tax purposes.

Keywords: plot of land, real estate, single real estate object, inseparable improvements, real estate tax.

REFERENCES

1. Civil Code of the Russian Federation No. 51-Fl. URL: <http://www.consultant.ru/> (date of access: 11.11.2019). (In Russian).
2. Tax Code of the Russian Federation (Part Two) No. 117-Fl. URL: <http://www.consultant.ru/> (date of the address 11.11.2019). (In Russian).
3. Land Code of the Russian Federation No. 136-Fl. URL: <http://www.consultant.ru/> (date of access: 11.11.2019). (In Russian).
4. Housing Code of the Russian Federation No. 188-Fl. URL: <http://www.consultant.ru/> (date of access: 11.11.2019). (In Russian).
5. Federal Law «On State Registration of Real Estate» N 218-Fl. URL: <http://www.consultant.ru/> (date of access: 11.11.2019). (In Russian).
6. Decision of the Judicial Board on Economic Disputes of the Supreme Court of the Russian Federation dated 30.09.2015 No. 303-ЭС15-5520. URL: <http://www.consultant.ru/> (date of access: 11.11.2019). (In Russian).

7. Letter dated October 1, 2018 from the Federal Tax Service of Russia No. BS-4-21/19038 @ «On Criteria for Distinguishing Types of Property (Movable or Immovable) for the Purpose of Applying Chapter 30 of the Tax Code of the Russian Federation». URL: <http://www.consultant.ru/> (date of access: 11.11.2019) (In Russian).
8. Decision of the Federal Arbitration Court of the Volga District dated 16.12.2008 in case No. A12-7360/08. URL: <https://www.lawmix.ru/povolzh/21845> (date of access: 11.11.2019). (In Russian).
9. Resolution of the Presidium of the Supreme Arbitration Court of the Russian Federation dated 24.09.2013 No. 1160/13. URL: <https://base.garant.ru/70597324/> (date of access: 11.11.2019) (In Russian).
10. Federal Law «Technical Regulations on Safety of Buildings and Structures» No. 384-Fl. URL: <http://www.consultant.ru/> (date of access: 11.11.2019). (In Russian).
11. Fomenko A.E. Separable and inseparable improvements to real estate. *Teoriya i praktika sudebnoj ekspertizy*. Vol. 13. No. 3. 2018. URL: <https://www.tipse.ru/jour/article/viewFile/448/413> (date of access: 11.11.2019).
12. Consultant-plus [Electronic resource]: Concept of development of civil legislation of the Russian Federation. <http://www.consultant.ru/> (date of access: 11.11.2019). (In Russian).
13. Concepts of the development of legislation on property law. URL: <http://privlaw.ru> (date of access: 11.11.2019) (In Russian).
14. Letters dated 14 November 2018 from the Ministry of Economic Development of the Russian Federation No. 14-11456-ГЕ/18, dated 23.11.2018 No. D23i-6307. URL: <https://sroboki.ru/m/31569> (date of access: 11.11.2019). (In Russian).

INFORMATION ABOUT AUTHOR

KARTSEVA Vera Viktorovna – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Geodesy and Cadastre, Associate Professor of the Department of Roads, Substructures and Foundations, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vera.v.kartseva@gmail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Kartseva V.V. Identification of the property for tax purposes // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2020. No. 1 (5), pp. 18–25.

УДК 691.26

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПЫЛЕОЧИСТКИ БАЗАЛЬТОВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

В.Б. Петропавловская, М.Ю. Завадько

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

Аннотация. Статья посвящена решению актуальной проблемы повышения эффективности использования пылевидного базальтового компонента в гипсовых системах гидратационного твердения. Предлагается использовать принудительную

карбонизацию для повышения физико-механических характеристик гипсового камня с добавкой базальта. Повышение прочности гипсового камня посредством выдерживания в среде углекислого газа способствует росту не только сульфатных, но и карбонатных новообразований в гипсовой структуре.

Ключевые слова: гипс, базальт, гидроксид кальция, углекислый газ, вяжущее, прочность, плотность, структура.

Одним из важнейших показателей качества строительных материалов является их прочность, скорость набора которой обусловлена целым рядом факторов, в числе которых находятся и условия твердения. Такой способ повышения прочности материалов часто кажется перспективным из-за отсутствия необходимости введения дополнительных дорогостоящих компонентов в состав (необходимо только создать оптимальные условия).

Авторами многих работ рассматривались возможности повышения прочности изделий посредством их выдерживания в среде, способствующей росту максимального количества кристаллических новообразований и, как следствие, образованию более жесткой матрицы композита. Например, известь при взаимодействии с углекислым газом формирует прочный водостойкий карбонат кальция в виде кристаллов кальцита. Это говорит о том, что при карбонизации (выдерживании в среде углекислого газа) композиционного материала, в состав которого входит известь, будет происходить рост карбонатных новообразований, способствующих, в свою очередь, кольматации пор материала и повышению его прочности [1–8].

Однако даже после прохождения материалом, содержащим в составе известь, ускоренной карбонизации он продолжает поглощать углекислый газ из окружающей среды уже во время эксплуатации. Поэтому авторы [9] говорят также об экологичности и безопасности материалов на основе извести карбонатного твердения.

В [10–15] речь идет о возможностях применения известковых компонентов в строительных смесях различных составов для последующего твердения и упрочнения камня во времени за счет углекислого газа в атмосфере, например, в качестве такого компонента применяется известковая пыль [12]. Однако такой способ повышения прочности актуален прежде всего при реализации выбросов производств, а не при использовании атмосферного газа. На производство 1 м² кирпичной стены (440 мм) приходится около 85 кг выбросов углекислого газа, который при изготовлении карбонизированных изделий может стать ценным компонентом [16, 17].

Целью данной работы являлось изучение возможности применения принудительной карбонизации для повышения эффективности модифицирования структуры гипсовых композитов отходом пылеочистки базальтовых производств.

В качестве исходных материалов в исследованиях применялись высокопрочный гипс марки ГВВС-16, базальтовая пыль в виде отхода пылеудаления производства базальтовых волокон, молотая известь.

Высокопрочный гипс Г-16 характеризовался:

- пределом прочности при сжатии (16 МПа);
- пределом прочности при изгибе (6 МПа);
- началом схватывания не ранее 4,50 мин;
- концом схватывания не позднее 20,00 мин;
- остатком на сите 0,2 мм не более 1 %.

Негашеная молотая известь по ГОСТ 9179 соответствовала I сорту и относилась к медленногасящейся. Содержание гидратной воды в негашеной извести не превышало 2 %. Качественные показатели сведены в таблицу.

Исследование свойств негашеной молотой извести производилось по ГОСТ 22688.

Качественные показатели негашеной молотой извести

Требования ГОСТ 9179		Средние показатели, полученные во время исследования
Наименование показателя	Значение	
Активные CaO + MgO, %	Не менее 80	85,54
CO ₂ , %	Не более 5	4,3
Пережог, %	Не более 2	0,98
Остаток на сите: 0,2 мм 0,08 мм	До 15	0,16 3,24
Гидратная влага, %	Не более 2	1,26
Время гашения, мин	Не более 8	4'08"

Сухая смесь для формирования образцов получалась предварительным перемешиванием гипсового вяжущего Г-16 и базальтовой пыли в количестве 10 % от массы вяжущего. Нормальная густота гипсового теста была определена согласно ГОСТ 23789 посредством испытаний на вискозиметре Суттарда и составила 36 %.

Затворение сухой смеси осуществлялось либо насыщенным раствором извести, либо водой при формировании контрольных образцов.

Для карбонизации образцов, полученных литьевым способом, они выдерживались в течение 7 суток при температуре 20 °С и влажности 60 % в среде углекислого газа CO₂ при давлении в камере твердения 0,015 МПа.

Рассмотрим схему рабочей установки – камеры, в которой выдерживались готовые образцы (рис. 1). Принцип работы установки заключается в следующем: опытный образец помещается в испытательную камеру, воздух откачивается из испытательной камеры посредством вакуумного насоса, на редукторе выставляется необходимое давление, открывается кран на баллоне, оставшийся воздух из испытательной камеры стравливается через клапан, после повторно создается нужное давление, кран на баллоне закрывается.

Исследования влияния углекислого газа CO₂ на прочность модифицированных гипсовых композитов показали, что на 7-е сутки твердения прочность при сжатии образцов, содержащих в своем составе раствор извести и твердеющих в среде газа, в среднем на 30 % больше, чем прочность контрольных образцов гипсового камня (рис. 2).

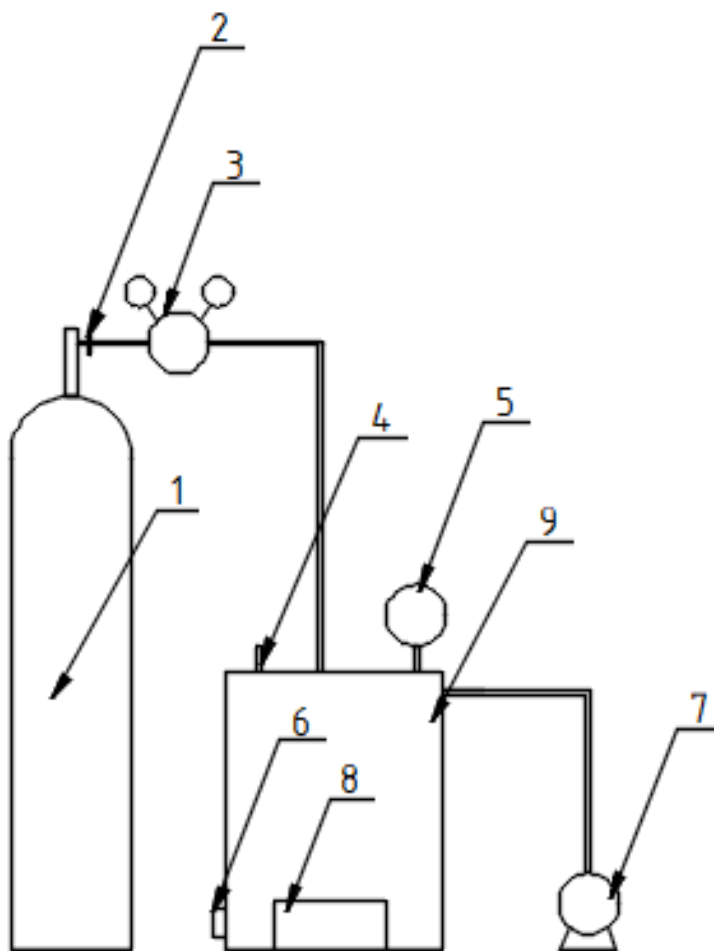


Рис. 1. Схема рабочей установки: 1 – газовый баллон с CO_2 ; 2 – кран; 3 – редуктор; 4 – клапан; 5 – манометр; 6 – психрометр; 7 – вакуумный насос; 8 – образец; 9 – испытательная камера

На 14-е сутки твердения прочность модифицированных образцов была больше прочности контрольных на 20 %, на 28-й день прочность образцов разных составов достигла одинакового значения (29 МПа).

Влияние углекислого газа на плотность при твердении гипсового камня в сроки до 28 суток незначительно (рис. 3), средняя плотность гипсового камня повышается в среднем не более чем на 5 % для всех исследованных составов. Это, по-видимому, объясняется формированием карбонатных соединений в приповерхностных слоях гипсового камня, а также в открытых порах, сообщающихся со средой.

Таким образом, твердение гипсового камня, модифицированного базальтовой пылью и гидроксидом кальция в среде CO_2 , на 28-е сутки дает незначительный прирост прочности в сравнении с контрольными образцами, что, возможно, обусловлено недостаточным количеством влаги для поддержания процесса карбонизации, а также наличием пустот в структуре гипсового камня с базальтовой пылью.

Г16+базальт

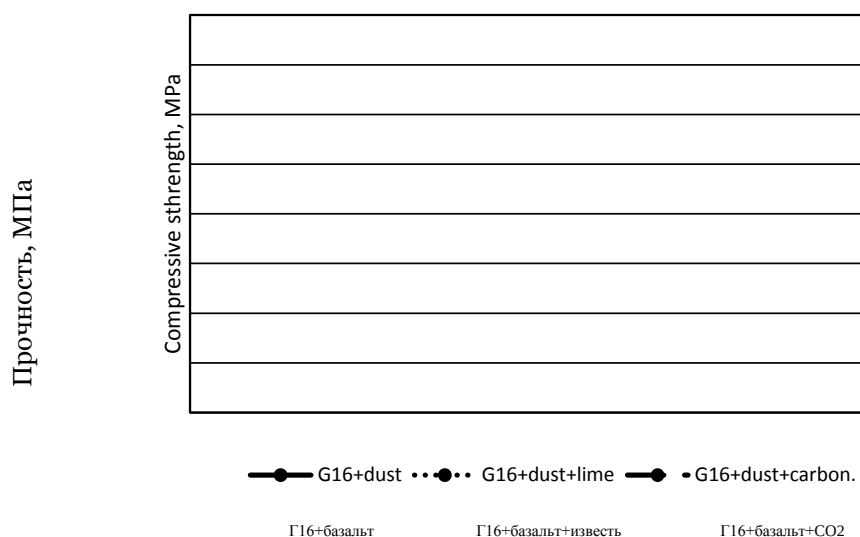


Рис. 2. Влияние условий твердения на прочность при сжатии гипсового камня

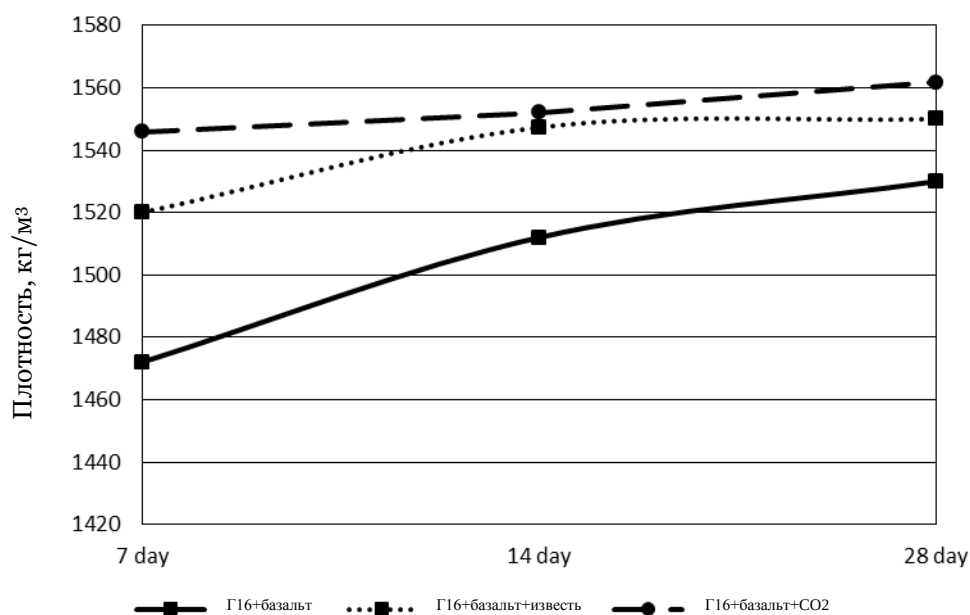


Рис. 3. Влияние условий твердения на плотность гипсового камня

Рост карбонатных новообразований во внутренней структуре камня затруднен не только по причине быстрого испарения воды, а также из-за образования плотных карбонатных пленок, формирующихся на поверхности камня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов А.В., Богомолов И.А., Соколов Д.Д., Темирканов Р.И., Григорьева Л.К. Карбонизация как фактор улучшения прочности железобетона // *Наука и бизнес: пути развития*. 2017. № 3 (69). С. 22–24.
2. Вахрушев А.А. Разработка строительных стеновых изделий на основе извести способом принудительной карбонизации // *Строительство – формирование среды жизнедеятельности: сборник материалов XIX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых*. М.: НИУ МГСУ, 2016. С. 789–792.
3. Завадько М.Ю. Биопозитивные гипсовые композиты с добавкой извести карбонизационного твердения // *Образование. Наука. Производство: материалы X Международного молодежного форума с международным участием*. 2018. С. 1555–1559.
4. Известь и карбонатное твердение – следующая ступень эволюции производства строительных материалов // *Строительные материалы*. 2017. № 8. С. 13–18.
5. Монкман С., Макдональд М., Хутон Д., Томас М. Использование углекислого газа в качестве добавки-ускорителя // *Цемент и его применение*. 2017. № 1. С. 82–89.
6. Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Завадько М.Ю. Повышение прочности гипсовых строительных материалов и изделий путем принудительной карбонизации // *Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения*. 2017. № 1. С. 26–30.
7. Любомирский Н.В., Николаенко Е.Ю., Николаенко В.В., Бахтин А.С., Бахтин Т.А. Влияние принудительной карбонизации на формирование структуры газобетона на основе известково-цементного вяжущего и карбонаткальцевого заполнителя // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 48–51.
8. Любомирский Н.В., Федоркин С.И., Костандов Ю.А., Бахтин А.С., Коваленко С.Н. Прочность и деформативность строительных материалов принудительного карбонатного твердения // *Строительство и техногенная безопасность*. 2018. № 11 (63). С. 57–65.
9. Козлова В.К., Божок Е.В., Логвиненко В.В., Саркисов Ю.С., Ильевский Ю.А. Усадочные деформации строительных материалов и пути их снижения // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2018. Т. 20. № 5. С. 140–155.
10. Козлова В.К., Лотов В.А., Саркисов Ю.С., Логвиненко В.В., Рахманова И.А., Божок Е.В. Процессы карбонизационной усадки строительных материалов // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2019. Т. 21. № 3. С. 178–194.
11. Recycling contaminated sediment into eco-friendly paving blocks by a combination of binary cement and carbon dioxide curing / Lei Wang, Tiffany L.K. Yeung, Abbe Y.T. Lau, Daniel C.W. Tsang, Chi-Sun Poon // *Journal of Cleaner Production*. 164 (2017). DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.07.070
12. Дворкин Л.И., Житковский В.В. Сухие строительные смеси с добавкой известково-карбонатной пыли // *Сухие строительные смеси*. 2018. № 4. С. 13–16.
13. Любомирский Н.В., Николаенко В.В., Николаенко Е.Ю. Изменение физико-механических свойств материалов карбонатного твердения на основе известково-известняковых систем с течением времени // *Строительство и техногенная безопасность*. 2019. № 15 (67). С. 67–75.
14. Любомирский Н.В., Федоркин С.И., Рыжаков А.Н., Бахтин А.С. Физико-математическое и компьютерное моделирование процесса принудительной карбонизации систем на основе извести // *Строитель Донбасса*. 2018. № 1 (2). С. 24–34.

15. Самигов Н.А., Атакузиев Т.А., Асаматдинов М.О., Ахунджанова С.Р. Физико-химическая структура и свойства водостойких и высокопрочных композиционных гипсовых вяжущих // *Universum: технические науки*. 2015. № 10 (21). С. 4.
16. Lawrence R.M. Effects of carbonation on the pore structure of non-hydraulic lime mortars // *Cement and Concrete Research*. 2017. Vol. 37. Iss. 7, pp. 1059–1069.
17. O. Cizer, K. Van Balen, J. Elsen, D. Van Gemert. Crystal morphology of precipitated calcite crystallized calcite crystals from accelerated carbonation of lime binders. – Режим доступа: <http://www.iscowa.org/> (дата обращения: 29.07.2019).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ Виктория Борисовна – кандидат технических наук, профессор кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

ЗАВАДЬКО Мария Юрьевна – ассистент кафедры автомобильных дорог, оснований и фундаментов, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Петропавловская В.Б., Завадько М.Ю. Повышение эффективности использования отходов пылеочистки базальтовых производств // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2020. № 1 (5). С. 25–33.

IMPROVEMENT OF EFFICIENCY OF USE OF WASTE DUST CLEANING OF BASALT PRODUCTION

V.B. Petropavlovskaya, M.U. Zavadko
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The work is devoted to solving the urgent problem of increasing the efficiency of using a pulverized basalt component in gypsum hydration hardening systems. It is proposed to use forced carbonization to increase the physical and mechanical characteristics of gypsum stone with the addition of basalt. Increasing the strength of gypsum stone by keeping carbon dioxide in the medium promotes the growth of neoplasms in the gypsum structure not only of sulfate, but also of carbonate.

Keywords: gypsum, basalt, calcium hydroxide, carbon dioxide, binder, strength, density, structure.

REFERENCES

1. Morozov A.V., Bogomolov I.A., Sokolov D.D., Temirkanov R.I., Grigoryeva L.K. Carbonization as a factor in improving the strength of reinforced concrete. *Nauka i biznes: puti razvitiya*. 2017. No. 3 (69), pp. 22–24. (In Russian).
2. Vakhrushev A.A. Development of building wall products based on lime by forced carbonization. *Construction – the formation of the living environment, a collection of materials of the XIX International Inter-University Scientific and Practical Conference of undergraduates*,

graduate students, graduate students and young scientists. M.: MGSU, 2016. pp. 789–792. (In Russian).

3. Zavadko M.Y. Biopositive gypsum composites with the addition of lime carbonization hardening. Education. *The science. Production Materials of the X International Youth Forum with international participation*. 2018. pp. 1555–1559. (In Russian).

4. Lime and carbonate hardening – the next step in the evolution of the production of building materials. *Stroitel'nye Materialy*. 2017. No. 8, pp. 13–18. (In Russian).

5. Monkman S., M. MacDonald, Huton D., Thomas M. The use of carbon dioxide as an accelerator. *Cement i ego primeneniye*. 2017. No. 1, pp. 82–89. (In Russian).

6. Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Zavadko M.Yu. Strengthening the strength of gypsum building materials and products by forced carbonization. *Bezopasnost' stroitel'nogo fonda Rossii. Problemy i resheniya*. 2017. No. 1, pp. 26–30. (In Russian).

7. Lyubomirsky N.V., Nikolaenko E.Yu., Nikolaenko V.V., Bakhtin A.S., Bakhtin T.A. Influence of forced carbonization on the formation of aerated concrete structure based on lime-cement binder and calcium carbonate filler. *Stroitel'nye Materialy*. 2017. No. 5, pp. 48–51. (In Russian).

8. Lyubomirsky N.V., Fedorkin S.I., Kostandov Yu.A., Bakhtin A.S., Kovalenko S.N. Strength and deformability of building materials of forced carbonate hardening. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*. 2018. No. 11 (63), pp. 57–65. (In Russian).

9. Kozlova V.K., Bozhok E.V., Logvinenko V.V., Sarkisov Yu.S., Ilyevsky Yu.A. Shrinkage deformations of building materials and ways to reduce them. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2018. Vol. 20. No. 5, pp. 140–155. (In Russian).

10. Kozlova V.K., Lotov V.A., Sarkisov Yu.S., Logvinenko V.V., Rakhmanova I.A., Bozhok E.V. The processes of carbonization shrinkage of building materials. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2019. Vol. 21. No. 3, pp. 178–194. (In Russian).

11. Lei Wang, Tiffany L.K. Yeung, Abbe Y.T. Lau, Daniel C.W. Tsang, Chi-Sun Poon. Recycling contaminated sediment into eco-friendly paving blocks by a combination of binary cement and carbon dioxide curing. *Journal of Cleaner Production* 164 (2017).

12. Dvorkin L.I. Zhitkovsky V.V. Dry building mixes with the addition of lime-carbonate dust. *Suhie stroitel'nye smesi*. 2018. No. 4, pp. 13–16. (In Russian).

13. Lyubomirsky N.V., Nikolaenko V.V., Nikolaenko E.Yu. Changes in the physico-mechanical properties of carbonate hardening materials based on lime-limestone systems over time. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*. 2019. No. 15 (67), pp. 67–75. (In Russian).

14. Lyubomirsky N.V., Fedorkin S.I., Ryzhakov A.N., Bakhtin A.S. Physico-mathematical and computer modeling of the process of forced carbonization of lime-based systems. *Stroitel' Donbassa*. 2018. No. 1 (2), pp. 24–34. (In Russian).

15. Samigov N.A., Atakuziev T.A., Asamatdinov M.O., Akhundzhanova S.R. Physico-chemical structure and properties of water-resistant and high-strength composite gypsum binders. *Universum: tekhnicheskie nauki*. 2015. No. 10 (21), p. 4. (In Russian).

16. Lawrence R.M. Effects of carbonation on the pore structure of non-hydraulic lime mortars. *Cement and Concrete Research*. 2017. Vol. 37. Iss. 7, pp. 1059–1069. (In Russian).

17. O. Cizer, K. Van Balen, J. Elsen, D. Van Gemert. Crystal morphology of precipitated calcite crystallized calcite crystals from accelerated carbonation of lime binders. *Forum italiano calce*. URL: <http://www.iscowa.org/> (date of access: 24.01.2020).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

PETROPAVLOVSKAYA Victoria Borisovna – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Products and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

ZAVADKO Maria Yuryevna – Assistant of the Department of Roads, Substructures and Foundations, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia.

CITATION FOR AN ARTICLE

Petropavlovskaya V.B., Zavadko M.U. Improvement of efficiency of use of waste dust cleaning of basalt production // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2020. No. 1 (5), pp. 25–33.

УДК 692.4

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ МЕТАЛЛОДЕРЕВЯННЫХ ДВУТАВРОВЫХ БАЛОК

Ю.В. Сизов, Е.В. Рочева, А.П. Шанин, А.Р. Герасименко

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

Аннотация. *Описываются конструктивные и технологические особенности производства двух видов металлодеревянных балок. Выявлена область использования комбинированных балок в строительной отрасли, а также приведены примеры их практического применения в качестве несущих конструкций каркаса зданий.*

Ключевые слова: *металлодеревянная балка, двутавр, строительство, несущие конструкции, каркас, гофрированная стенка.*

ВВЕДЕНИЕ

В современном строительстве исследования ведутся в направлении улучшения уже имеющихся конструкций, сечений, элементов расчетных схем, структуры материалов. Одним из главных направлений изучения является достижение максимального экономического эффекта от современных конструкций путем снижения трудоемкости при монтаже, уменьшения (увеличения) материалоемкости, а также стоимости конструкции в целом.

В процессе проведения множества опытов по оптимизации наиболее рационального двутаврового сечения было выявлено, что при применении в балке поясов из древесины и стенки из металлопроката можно получить хороший экономический эффект без потери прочностных характеристик [1]. Научные разработки отечественной и западной школ привели к появлению различных типов металлодеревянных балок, так как они обладают двумя качества, на первый взгляд, несовместимыми, – прочностью (железо) и легкостью (древесина). Такие балки целесообразно использовать в качестве несущих конструкций. Применение балок подобного типа в несущем каркасе здания снижает вес здания и, как следствие, нагрузки на фундамент и основание.

Существуют деревянные балки двутаврового сечения, которые пользуются большим спросом. Однако деревянная балка не сопоставима с деревянно-металлической по расстоянию перекрываемого пролета (длина последней может достигать 24 м). Комбинированное сечение в сравнении с двутавровыми балками обладает рядом преимуществ: существенно меньшим весом, соответственно, применением

грузоподъемных механизмов меньшей мощности, и, следовательно, меньшей стоимостью конструкции.

Развитие исследований в области применения металлодеревянных балок заключается в подборе рациональной формы металлической стенки, способной отвечать современным требованиям по прочности и устойчивости конструкции. Таким образом, возникают новые решения металлодеревянных балок.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В современном строительстве используются различные типы тонкостенных металлических двутавровых балок, среди которых можно выделить два вида (в зависимости от типа поперечной гофры). Рассмотрим их.

Металлодеревянная балка с полуцилиндрическими гофрами

Металлическая стенка выполняется из оцинкованной стали. Соединение стенки с деревянными поясами осуществляется при помощи клея, от качественных характеристик которого зависит прочность соединения.

Тело стенки выполнено с выштампованными ортогональными гофрами в виде полуцилиндра, который является высотой гофра. Ориентация гофр осуществляется чередованием их направлений относительно оси балки. Крепление деревянных поясов к металлической стенке осуществляется путем фиксации прямых и гофрированных участков кромки в пропиле, куда также вставляются и цилиндрические нагели (рис. 1а) [2].

Для повышения прочности соединения нагель крепится к металлической стенке при помощи специальных соединительных элементов, представляющих собой часть гофры, по обе стороны которой расположены плоские участки (рис. 1б) [3].

Металлодеревянная балка, включающая стенку с прикрепленными к ней верхним и нижним деревянными поясами и ребра жесткости, отличается тем, что сделана из металла, за счет чего обеспечивается гибкость, причем ребра жесткости выполнены из деревянных брусков и расположены попарно по обе стороны, т.е. на опорах и по длине, поэтому образуют отсеки

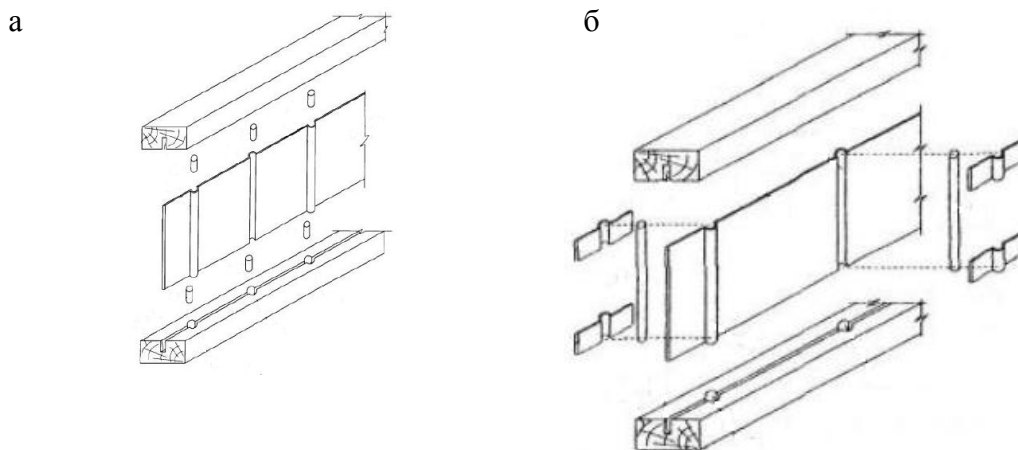


Рис. 1. Балки в момент изготовления: а – тонкостенная металлодеревянная двутавровая балка с цилиндрическими гофрами;
б – то же, усиленная дополнительными крепежными элементами

Металлодеревянная ХТС-балка

Металлодеревянная ХТС-балка – немецкое изобретение, нашедшее широкое применение в устройстве и реконструкции перекрытий, надстройке зданий, устройстве мансард. Такую модель также целесообразно использовать в конструкциях, имеющих большое расстояние между опорами [4].

Балка состоит из деревянных поясов и металлической стенки с вертикальными гофрами, на кромках которой располагаются зубья разной величины (рис. 2). Соединение стенки и поясов достигается запрессовыванием зубьев в древесину через каждые 50 мм. Волнистая форма стенки обеспечивает высокие несущие характеристики балки. Таких стенок может быть не одна, а две (они расположены на расстоянии 15–20 мм). Балка с двумя стенками лучше сопротивляется изгибу, чем аналогичная с одной. В качестве материала поясов балки используется сухая строганная древесина хвойных пород, которая соединяется с нанесенным полимерным покрытием при помощи оцинкованной стальной перемычки. В целях повышения пределов огнестойкости, защиты от воздействия внешней агрессивной среды древесину обрабатывают специальным огнебиозащитным составом [6].

Рассматриваемый тип балки нашел широкое применение в качестве стропил и прогонов, а также балок перекрытий, колонн и других элементов каркаса малоэтажных зданий. Среди основных преимуществ можно выделить высокую прочность и способность не изменять размеры (не подверженность деформации и усадке) [7].

ХТС-балки являются наиболее экономичными по сравнению с традиционными материалами; используются при строительстве. Их небольшая масса позволяет уменьшить количество денежных средств, затрачиваемое на монтаж конструкций. Балка, несмотря на свою небольшую массу, обладает высокой несущей способностью (до 500 кг/п. м.).

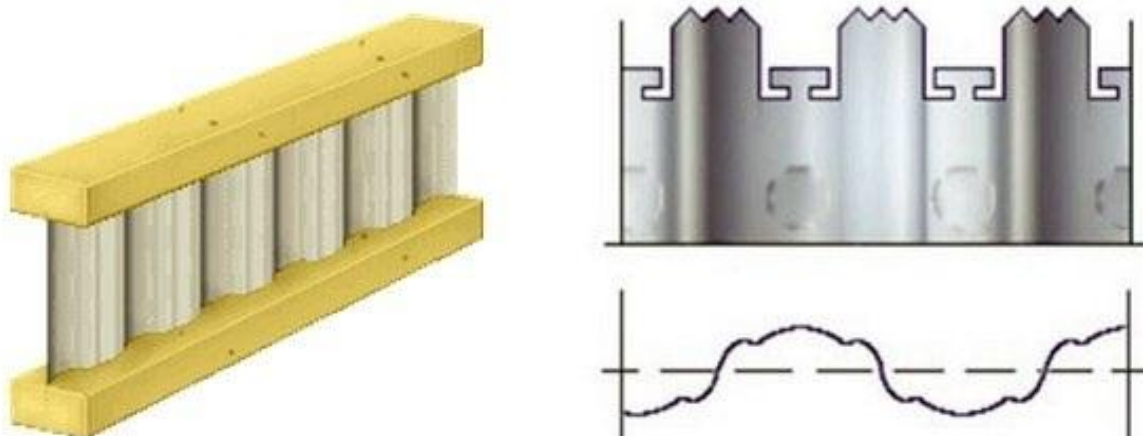


Рис. 2. Фрагмент двутавровой ХТС-балки [5]

Балки высокого качества сохраняют ценные физические свойства при изменении температурно-влажностного режима. Изделия изготавливаются в заводских условиях при применении ценной древесины хвойных пород (лиственницы или сосны).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для России, имеющей большие запасы лесных ресурсов, появление рассмотренных видов балок расширяет границы применения дерева в строительстве. Использование современных технологических решений при производстве делает возможным достижение высокой несущей способности конструкции и сохранение эстетической составляющей. Перспективными для строительной отрасли являются исследования конструкции и функций комбинированных балок. Эти исследования будут способствовать расширению ряда проектных решений для общественного и индивидуального строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карельский А.В., Батманова К.А., Борисова Н.А. Современные деревянные технологии // *Современные проблемы строительства и жизнеобеспечения: безопасность, качество, энерго- и ресурсосбережения: сборник статей IV Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 60-летию Инженерно-технического института Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова* / под ред. А.Е. Саввиной. Киров: Международный центр научно-исследовательских проектов, 2016. С. 308–312.
2. Патент РФ 9870. *Металлодеревянная балка* / Погадаев И.К., Сухарев Ю.В., Иванов А.В.; заявл. 26.11.98; опубл. 16.05.99.
3. Тихомирова Т.А., Утемова У.А., Чаганов А.Б. Двутавровые балки из термодеревянных поясов и стенок различных материалов // *Аллея Науки*. 2017. № 11. С. 96–114.
4. Оригинальная гибридная балка HTS 2016. URL: <https://www.wood-steel.eu/ru/hts-traeger/> (дата обращения: 25.12.2019).
5. ХТС-БАЛКА. URL: <https://balkomplekt.ru/catalog/khts-balka/> (дата обращения: 25.12.2019).
6. Патент РФ 1795037. *Металлодеревянная балка* / Чистяков А.М., Порядин И.В., Сердюков В.И., Людаев В.С., Дмитриев О.Н.; заявл. 12.05.91; опубл. 15.02.93, Бюл. № 6.
7. Балка ХТС: производство российское, качество – европейское! URL: <http://www.construktion.ru/81.php> (дата обращения: 19.03.2014).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

СИЗОВ Юрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: uvsizov1961@yandex.ru

РОЧЕВА Екатерина Владиславовна – магистр, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: Rocheva_97@mail.ru

ШАНИН Арсений Павлович – магистр, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: Shanin@tver-unproekt.ru

ГЕРАСИМЕНКО Александра Романовна – магистр, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: forgetmenot98@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Сизов Ю.В., Рочева Е.В., Шанин А.П., Герасименко А.Р. Об особенностях металлодеревянных двутавровых балок // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2020. № 1 (5). С. 33–38.

ABOUT THE FEATURES OF METAL WOODEN DOUBLE-TEE GIRDER

Y.V. Sizov, E.V. Rocheva, A.P. Shanin, A.R. Gerasimenko

Tver State Technical University (Tver)

Abstract. Constructive and technological features of production of two kinds of composite steel and wood I-beams are described. The application area of composite steel and wood I-beams in construction industry and examples of their application as supporting structures are given.

Keywords: metal-wooden beam, I-beam, construction, supporting structures of the frame, corrugated wall.

REFERENCES

1. Karelsky A.V., Batmanova K.A., Borisova N.A. Modern wooden technologies. *Modern problems of construction and life support: safety, quality, energy and resource savings: Collection of articles of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference*. 2016, pp. 308–312. (In Russian).
2. Patent RF 9870. Metalloderevyannaya balka [Metal beam]. Pogadayev I.K., Sukharev Y.V., Ivanov A.V.; Declared 26.11.98; Published 16.05.99 (In Russian).
3. Tikhomirov T.A., Utemova U.A., Chaganov A. B. Double-beam beams from thermodelted belts and walls of various materials. *Alleya Nauki*. 2017. № 11, pp. 96–114. (In Russian).
4. Original HTS 2016 hybrid beam. URL: <https://www.wood-steel.eu/ru/hts-traeger/> (date of access: 25.12.2019). (In Russian).
5. HTS BEAM. URL: <https://balkomplekt.ru/catalog/khts-balka/> (date of access: 25.12.2019). (In Russian).
6. Patent RF 1795037. Metalloderevyannaya balka [Metal beam]. Chistyakov A.M., Ordin I.V., Serdyukov V.I., Ludayev V.S., Dmitry O.N.; Declared 12.05.91. Published 15.02.93, Bulletin No. 6 (In Russian).
7. HTS beam: production Russian, quality European! URL: <http://www.construktion.ru/81.php> (date of access: 19.03.2014) (In Russian).

INFORMATION ABOUT AUTHOR

SIZOV Yury Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: uvsizov1961@yandex.ru

ROCHEVA Ekaterina Vladislavovna – undergraduate, Tver State Technical University, 22, embankment A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: Rocheva_97@mail.ru

SHANIN Arseny Pavlovich – undergraduate, Tver State Technical University, 22, embankment A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: Shanin@tver-unproekt.ru

GERASIMENKO Aleksandra Romanovna – undergraduate, Tver State Technical University, 22, embankment A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: forgetmenot98@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Sizov Y.V., Rocheva E.V., Shanin A.P., Gerasimenko A.R. About the features of metal wooden double-tee girder // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2020. No. 1 (5), pp. 33–38.

УДК 69.059.25(075.8)

ОПТИМИЗАЦИЯ ВОЗДУШНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ

В.В. Федоров, М.В. Федоров, А.В. Левиков, Д.А. Ханьгин
Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

Аннотация. Рассматриваются возможные пути оптимизация воздушно-теплого режима жилых зданий в процессе их реконструкции. Основной вариант – утепление наружных ограждающих конструкций (подразумевает под собой подбор изолирующего материала, дизайн, трудоемкость и технология производства работ). Оценивается также потенциал решения проблемы путем управления газовым составом воздуха жилых помещений (вентиляция: регулируемая с естественным притоком, механическая вытяжная, приточно-вытяжная и пр.). Подчеркнута целесообразность устройства автономной поквартирной регулируемой механической приточно-вытяжной вентиляции, предусматривающей утилизацию тепла вытяжного воздуха для подогрева приточного.

Ключевые слова: реконструкция зданий, воздушно-тепловой режим, оптимизация параметров, воздушная среда.

Одна из ключевых задач реконструкции зданий – «обеспечение безопасных условий для проживания и пребывания человека по ряду параметров внутренней воздушной среды» [1, с. 2]. На здоровье и работоспособность человека влияют температура, относительная влажность и скорость движения воздуха, его ионный состав, содержание в воздухе различных газов (так, на долю антропоксинов приходится 2/3 вредных веществ в атмосфере жилого помещения), взвешенных частиц пыли и микроорганизмов. В таком ракурсе *оптимизация микроклимата* понимается прежде всего как улучшение, совершенствование воздушной среды. Важным показателем является не только температура, но и содержание углекислого газа (оптимальное его количество – 0,1 %). Кроме того, в воздухе жилых помещений неизбежно содержатся загрязнители самой различной природы, образовавшиеся вследствие физиологических обменных процессов, приготовления пищи, сжигания бытового газа, стирки, деструкции строительных материалов и пр.

Эффективность утепления наружных ограждающих конструкций реконструируемого здания определяется: 1) свойствами изолирующего материала (стоимостью, адгезией, сроком службы, сопротивлением воздействию открытого пламени и пр.); 2) трудоемкостью и стоимостью утепления наружных стен; 3) возможностью улучшения дизайна реконструируемого сооружения; 4) долговечностью, устойчивостью к воздействиям природных факторов.

Системы утепления фасадов, включающие штукатурные слои. Помимо общего требования к надежному механическому или клеевому закреплению утеплителя к стене, обязательно обеспечение годового баланса влагонакопления (реализуемого подбором показателей паропроницаемости штукатурных слоев).

Системы с облицовкой кирпичом или другими мелкоштучными материалами. Они, как правило, обладают достаточной паропроницаемостью; нет необходимости в устройстве вентилируемого воздушного зазора. Из-за различных механических и температурно-влажностных характеристик используемых материалов необходимо устройство компенсационных швов с упругими элементами.

Системы утепления с защитно-декоративными экранами. В этих системах вентилируемые фасады требуют обязательного устройства впускных (внизу стены) и выпускных (вверху) отверстий, поскольку экран представляет собой паро- и воздухо непроницаемую преграду. Внешний отделочный слой укрепляется на несущих конструкциях (каркасе), которые прикреплены к стене здания.

Важную роль в создании благоприятных условий воздухообмена (табл. 1) играет вентиляция жилых помещений, позволяющая регулировать влажность, состав воздуха и препятствующая распространению возбудителей инфекций, передаваемых воздушно-капельным путем.

Таблица 1

Рекомендуемые параметры жилых помещений
для II климатического района Российской Федерации (г. Тверь)

Параметр	Период	
	зимний	летний
Температура воздуха в помещении, °С	18–20	21–24
Относительная влажность воздуха, %	30–45	35–50
Скорость движения воздуха в помещении, м/с	0,08–0,1	0,08–0,1
Температура поверхности стен минимальная, °С	18	27

Естественная вентиляция осуществляется за счет: а) разницы температуры воздуха внутри и вне помещения; б) ветрового напора (давления ветра на наружные стены здания). Инфильтрация наружного воздуха происходит через поры строительного материала и неплотности сопряжения конструктивных элементов здания, следовательно, обеспечивается кратность воздухообмена 1–1,5 в час. Увеличение расхода вентиляционного воздуха, требующего затрат на его доведение до требуемых параметров (достижение нулевых показателей практически невозможно), сказывается на общей эффективности системы. Например, замена однослойных керамзитобетонных панелей на трехслойные с эффективным утеплителем сокращает потери тепла наружной стеной на $15 \text{ ккал/м}^2 \text{ ч}$, но увеличивает расход тепла на подогрев вентиляционного воздуха на $30 \text{ ккал/м}^2 \text{ ч}$. Коэффициент комфортности помещений K_o зависит от параметров строительных материалов (теплопроводности λ и коэффициента комфортности K_1): $K_o = \lambda K_1$ [2]. В процессе возведения новых или реконструкции существующих зданий приемлемая степень комфортности помещений обеспечивается за счет:

конструкций и теплозащиты здания (объемно-планировочного и конструктивного решения, наземного, надземного или подземного расположения, учета розы ветров и пр.); относительно простых и экономически эффективных отопительно-вентиляционных устройств.

Постоянное увеличение этажности застройки российских городов приводит к изменению градиента давления воздуха на поверхностях ограждающих конструкций, вертикальному перетеканию воздуха (интенсификации газового, радонового и бактериального загрязнения верхних уровней строения). Повышенная герметичность современных оконных заполнений, столь важная для энергосбережения, актуализирует проблему вентиляции помещений в жилых зданиях массовой застройки, где проветривание осуществляется исключительно естественным путем (табл. 2).

Таблица 2

Показатели различных типов ограждающих конструкций

Показатели конструктивных решений наружных стен	Стена «идеальной» комфортности	Бревенчатые стены избы	Однослойная керамзитобетонная	Трехслойная панель
Расход тепла на обогрев помещений, ккал/м ² ч	35	40	66	82
Коэффициент комфортности жилых помещений K_o	0,71	1,15	5,00	19,30

Примечание: интегральный показатель расхода тепла характеризует: а) нагрев воздуха в помещениях; б) теплопотери наружных стен; в) прочие теплопотери (преимущественно через перекрытия и заполнения оконных проемов)

Утепление наружных ограждающих конструкций в процессе реконструкции или ремонта – дорогостоящая и ответственная процедура, поэтому так важен обоснованный выбор материалов и технических решений, минимизирующих появление теплопроводящих связей и сложных примыканий, снижающих интегральное сопротивление теплопередаче ограждения. Но при любом решении невозможно исключить расходы тепла на вентиляцию (чем эффективнее утепление, тем больше затраты на вентиляцию). В современных домах затраты энергии на вентиляцию и инфильтрацию составляют до 40–50 % всех расходов энергии на отопление зданий, а в наиболее холодные периоды времени года они могут достигать 60 % [1].

Переход в массовом жилищном строительстве на герметичные окна со стеклопакетами, наряду с уменьшением теплопотерь и улучшением акустических характеристик жилища, привел к ухудшению воздушного режима помещений по сравнению с традиционными системами естественной вентиляции. Установка герметичных окон привела к повышению влажности и ухудшению качества воздуха в помещениях. Характер функционирования системы вентиляции – один из важных аспектов инженерного формирования комфортной и регулируемой среды обитания в многоквартирных жилых зданиях.

Проектирование реконструкции зданий предполагает рассмотрение различных вариантов решения проблемы вентиляции [1], позволяющих нормализовать воздушно-тепловой режим квартир, регулирование воздухообмена по реальной потребности:

1. Устройство регулируемой вентиляции с естественным притоком воздуха через специальные приточные клапаны, обеспечивающие нормативный воздухообмен и не позволяющие уличному шуму проникать в квартиры.

2. Устройство механической вытяжной или приточно-вытяжной вентиляции с утилизацией теплоты удаляемого воздуха (рисунок).

3. Обеспечивающие приток воздуха форточки, фрамуги и открывающиеся створки окон, оборудованные фиксаторами положения (если уровень уличного шума не превышает допустимый) (допускается использовать все указанные средства как исключение).

В мировой практике получили распространение системы вентиляции многоэтажных жилых домов с подогревом приточного воздуха с помощью теплоутилизаторов, применяющих тепло вытяжного воздуха. Подобные системы обеспечивают:

а) существенную экономию тепловой энергии, расходуемой на нагрев вентиляционного воздуха (от 50 до 90 %);

б) высокий уровень воздушно-тепловой комфортности, обусловленный аэродинамической устойчивостью системы вентиляции и сбалансированностью расходов приточного и вытяжного воздуха;

в) возможность защиты от городского внешнего шума при использовании герметичных светопрозрачных ограждений;

г) гибкое регулирование параметров воздушно-теплого режима в зависимости от характера эксплуатации каждой отдельной квартиры, в том числе с использованием рециркуляционного воздуха;

д) очистку и поддержание оптимальной влажности воздуха в квартире при применении регенеративных теплоутилизаторов.

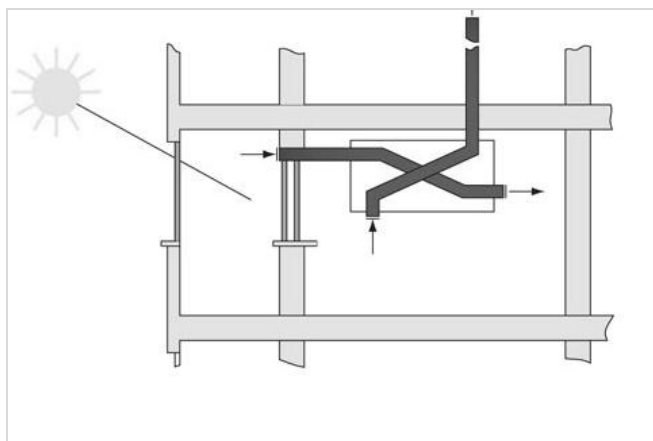


Схема автономной механической системы вентиляции с рекуперацией теплоты вытяжного воздуха (обеспыленный и частично подогретый воздух поступает в квартиру непосредственно из пространства лоджии)

Приточные устройства (клапаны), которые могут устанавливаться на окно или монтироваться в стене (канал диаметром 100–125 мм), регулируют естественный приток в автономном режиме, обеспечивают постоянный расход воздуха при изменении

перепада давления внутри и снаружи здания (до $40 \text{ м}^3/\text{ч}$). Одна из разновидностей клапанов (гигрорегулируемые) увеличивают пропускную способность при повышении влажности внутри помещения. Приточные клапаны устанавливаются в каждом жилом помещении (не менее 2 в каждой квартире). Типоразмер и количество клапанов в разных квартирах на разных этажах могут быть различными. Количество клапанов определяют расчетом [3]. Для стабильной работы вентиляции в любом случае целесообразна установка местной принудительной вытяжки из санузлов и кухни.

Если естественный приток недостаточен, то возможно использование бризеров (стенных проветривателей), обеспечивающее механический приток наружного воздуха в помещение. Вентилятор устройства подает в помещение наружный воздух (объемом в среднем от 35 до $120 \text{ м}^3/\text{ч}$). Для установки проветривателя, как и в случае с настенным приточным клапаном, в наружной стене в процессе реконструкции устраивают сквозной канал диаметром 100–125 мм. Устройство подключается к электросети, снабжается фильтром и подогревателем воздуха.

Системы утилизации теплоты удаляемого воздуха охватывают лишь часть объема воздуха, удаляемого из квартиры (вытяжка из санузлов и ванной комнаты не утилизируется). Таким образом, через рекуператор проходит примерно в два раза больше приточного воздуха, чем вытяжного. Отсюда необходимость его дополнительного подогрева или охлаждения (см. рисунок).

Расчеты и опыт эксплуатации рассматриваемых систем оптимизации воздушно-теплового режима показывают возможность снижения удельного годового расхода теплоты на отопление и вентиляцию: в реконструированных зданиях – до 47 %, а в случае применения рекуператоров – до 67%. Комплексный подход к управлению микроклиматом означает обоснованный и сбалансированный выбор соотношения стоимости устройств, их монтажа и эксплуатации, уровня обеспечения акустического и теплового комфорта, качества подаваемого в помещения воздуха и пр.

При этом величина затрат на реконструкцию здания в целом увеличится на стоимость добавления элемента или системы оборудования; их замены, модернизации и последующей эксплуатации. В целом функциональное устаревание, связанное с актуальным состоянием систем отопления и вентиляции, должно быть преодолено, если это экономически целесообразно, а также в случае изменения рыночных стандартов и предпочтений потребителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технические рекомендации по организации воздухообмена в квартирах жилых зданий. Рекомендации НП АВОК 5.2-2012.
2. Гусев Б.В., Дементьев В.М. Об идеальной комфортности жилища // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 1999. № 1. С. 24–25.
3. Малявина Е.Г., Бирюков С.В., Дианов С.Н. Воздушный режим жилых зданий. Учет влияния воздушного режима на работу системы вентиляции жилых зданий // *АВОК*. 2003. № 6. С. 18–24.
4. Федоров В.В., Сухарев Ю.В., Яковлев С.Г. Исследование теплового режима чердачных покрытий зданий // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2007. Вып. 10. С. 3–7.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ФЕДОРОВ Виктор Владимирович – доктор культурологии, профессор кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: vvf322@yandex.ru

ФЕДОРОВ Михаил Викторович – кандидат философских наук, доцент кафедры менеджмента, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: vvf322@yandex.ru

ЛЕВИКОВ Александр Валерьевич – кандидат философских наук, доцент кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22.

ХАНЫГИН Дмитрий Александрович – доцент кафедры конструкций и сооружений ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Федоров В.В., Федоров М.В., Левилов А.В., Ханьгин Д.А. Оптимизация воздушно-теплового режима реконструируемых зданий // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2020. № 1 (5). С. 38–44.

**OPTIMIZATION OF THE AIR-HEATING MODE
RECONSTRUCTED BUILDINGS**

V.V. Fedorov, M.V. Fedorov, A.V. Levikov, D.A. Hanygin
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. Possible ways of optimization of air-thermal conditions of residential buildings in the process of their reconstruction are considered. The main option-insulation of external enclosing structures (selection of insulating material, design, complexity and technology of work). The potential of solving the problem by controlling the gas composition of residential air (ventilation: regulated with natural inflow, mechanical exhaust, supply and exhaust, etc.) is also assessed. Emphasizes the feasibility of the Autonomous device-adjustable door-to-door mechanical supply-exhaust ventilation providing heat recovery exhaust air to preheat fresh air.

Keywords: reconstruction of buildings, air-heat regime, optimization of air, environment parameters.

REFERENCES

1. Technical recommendations for the organization of air exchange in apartments of residential buildings. Recommendations non-profit partnership AVOK 5.2. 2012. URL: https://www.abok.ru/norm_doc/ (date of access 20.12.2019). (In Russian).
2. Gusev B.V., Dement'ev V.M. About the ideal comfort of home. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 1999. No.1, pp. 24 – 25. (In Russian).
3. Malyavina E.G., Biryukov S.V., Dianov S.N.. Air regime of residential buildings. Consideration of the effect of air regime on the operation of the ventilation system of residential buildings. *AVOK*. 2003. No. 6, pp. 18–24. (In Russian).

4. Fedorov V.V., Suharev YU.V., Yakovlev S.G. Study of the thermal regime of attic coatings of buildings. *Vestnik TvGTU*. 2007. Vol. 10, pp. 3–7 (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

FEDOROV Victor Vladimirovich – Doctor of Cultural Sciences, Professor of the Department of of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vvf322@yandex.ru

FEDOROV Mikhail Viktorovich – Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor of the Department of Management, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vvf322@vvf322@yandex.ru

LEVIKOV Alexander Valeryevich – Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vvf322@yandex.ru

HANYGIN Dmitry Aleksandrovich – Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vvf322@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Fedorov V.V., Fedorov M.V., Levikov A.V., Hanygin D.A. Optimization of the air-heating mode reconstructed buildings // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2020. No. 1 (5), pp. 38–44.

УДК 534.1(065.8)

О МЕТОДАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ОБЪЕКТОВ

В.К. Хегай¹, В.И. Гультияев², В.Ю. Чурюмов¹, В.Л. Савич¹

¹*Ухтинский государственный технический университет (г. Ухта)*

²*Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*

Аннотация. В рассматриваемой работе затрагиваются методы определения собственных частот колебаний механических систем двумя основными способами: непосредственным решением дифференциального уравнения колебаний; энергетическим подходом с применением механического аналога в качестве механической системы с одной степенью свободы. В результате решения поставленной задачи был произведен анализ методов решения на определение собственных частот колебаний, в результате которого получены результаты, позволяющие утверждать, что применение энергетического подхода для определения собственных частот колебаний механической системы возможно. Это позволит упростить задачи исследований, связанных с динамикой и прочностью различных конструкций. Отмечено, что энергетический подход к определению указанного динамического параметра является наиболее удобным и может быть распространен на многоуровневый подход описания волновых процессов деформаций и разрушения рассматриваемых объектов.

Ключевые слова: частота колебаний, конструкция, механическая система, энергетический подход, резонанс, кинетическая энергия, жесткость.

ВВЕДЕНИЕ

При расчетах различных механических систем, конструкций, воспринимающих различные нагрузки, необходимо оценивать и собственные характеристики их характеристики. Одной из важнейших характеристик является собственная частота колебаний, относительно которой производится основной динамический расчет, связанный с понятием «резонанс», в зависимости от первоначальной постановки задачи.

Задачи расчета могут быть представлены с двух позиций: с одной стороны необходимо избежать разрушительного эффекта под действием динамических нагрузок, с другой – соответственно разрушить рассматриваемый объект [4, 6, 7]. Заменить на: При решении данных задач с одной стороны необходимо избежать разрушительного эффекта под действием динамических нагрузок, с другой – разрушить рассматриваемый объект ...

Разрушение возможно с минимальными затратами в случае правильного подбора спектра частот динамического возмущения, который наиболее точно совпадает с собственной частотой колебаний механической системы.

С учетом вышесказанного рассмотрим методы определения собственных частот механической системы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Существуют, согласно [1, 4], два основных метода определения собственной частоты: первый связан с непосредственным решением дифференциального уравнения колебательного процесса; второй основан на энергетическом подходе, относительно которого разработаны различные способы нахождения собственной частоты колебаний. Эти способы подробно разработаны в области теоретической механики и механики деформируемого твердого тела.

Рассмотрим поперечные колебания балки (рис. 1), происходящие в плоскости yOz после того, как возбуждающая их сила прекратила свое действие. Такие колебания называются свободными. Отметим, что частоты свободных колебаний любой упругой системы (в частности, балки) не могут быть произвольными. Их значения определяются свойствами данной системы.

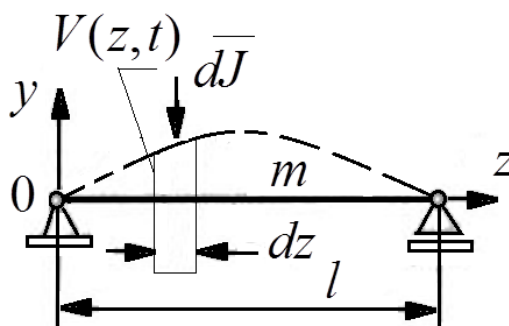


Рис. 1. Расчетная схема для составления уравнения колебаний при изгибе

Для нахождения собственных частот составим уравнение колебаний, используя принцип д'Аламбера. Перемещение точки балки при ее изгибе V является функцией

двух переменных: координаты z и времени t . Ускорение получается путем двойного дифференцирования по времени и обозначается $\ddot{V}$. Тогда на элемент балки, имеющий длину dz действует сила инерции

$$dJ = -mdz\ddot{V} = q_y dz,$$

где m – масса участка балки единичной длины;

$q_y = -m\ddot{V}$ – интенсивность распределенной инерционной нагрузки, направленной параллельно оси Oy .

При введении нагрузки q_y задача, согласно принципу д'Аламбера, сводится к статической и можно использовать известное уравнение статического изгиба балки:

$$EI_x V'' = M_x,$$

где EI_x – жесткость балки при изгибе ее оси в плоскости Oyz ;

$V'' = \frac{d^2 V}{dz^2}$ – двойное дифференцирование перемещения выбранной точки по координате z ;

M_x – изгибающий момент.

С другой стороны, используя теорему Шведлера из теории изгиба и считая $EI_x = \text{const}$, получаем

$$EI_x V^{IV} = M_x'' = Q_y' = q_y,$$

что при подстановке выражения для q_y дает искомые уравнения колебаний:

$$EI_x V^{IV} - q_y = 0, \quad (1)$$

$$EI_x V^{IV} + m\ddot{V} = 0. \quad (2)$$

Применяя далее уравнение (2), следует помнить о следующих допущениях:

1. Собственный вес балки и другие статические нагрузки вызывают дополнительный прогиб V , не зависящий от времени. Поэтому в уравнении (2) перемещение фактически отсчитывается от положения статического изгиба. Найденные далее собственные частоты оказываются не зависящими от статических поперечных нагрузок.

2. В уравнении не учтены силы неупругого сопротивления движению.

3. Заключительное уравнение вследствие принятых допущений является линейным. Следовательно, оно справедливо до тех пор, пока амплитуда колебаний достаточно мала.

Решение уравнения (2) ищем в виде

$$V(z, t) = \tilde{V}(z) \sin \omega t, \quad (3)$$

где ω – угловая собственная частота, имеющая размерность (рад/с) и связанная с собственной частотой колебаний f , измеряемой в герцах, зависимостью $\omega = 2\pi f$.

Подставляя (3) в (2), получаем дифференциальное уравнение для определения функции $\tilde{V}(z)$, называемой **формой колебаний**:

$$(EI_x \tilde{V}^{IV} - m\omega^2 \tilde{V}) \sin \omega t = 0, \quad (4)$$

причем нулю должно равняться выражение в скобках, так как $\sin \omega t$ произвольный момент времени отличен от нуля.

Решение уравнения (4) является выражение

$$\tilde{V}(z) = A \sin(\lambda z) + B \cos(\lambda z) + C \operatorname{sh}(\lambda z) + D \operatorname{ch}(\lambda z), \quad (5)$$

где

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{m\omega^2}{EI_x}}; \quad (6)$$

третье и четвертое слагаемые представляют собой гиперболические синус и косинус: $\operatorname{sh}(x) = 0,5(e^x - e^{-x})$, $\operatorname{ch}(x) = 0,5(e^x + e^{-x})$.

Для определения постоянных интегрирования A , B , C и D следует использовать условия закрепления. Если балка шарнирно оперта по концам (см. рис. 1), то граничные условия имеют вид

$$\begin{cases} \tilde{V} = 0 & \text{при } z = 0; \tilde{V} = 0 & \text{при } z = l; & (a) \\ \tilde{V}'' = 0 & \text{при } z = 0; \tilde{V}'' = 0 & \text{при } z = l. & (b) \end{cases} \quad (7)$$

Условия (7б) выражают равенство нулю изгибающего момента $M_x = EI_x V'' = EI_x \tilde{V}'' \sin \omega t$ на шарнирных опорах в любой момент времени. Подчиняя выражение (5) условиям (7а,б), получаем следующие системы уравнений:

$$\begin{cases} B + D = 0; \\ -B + D = 0; \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} A \sin(\lambda l) + C \operatorname{sh}(\lambda l) = 0; \\ -A \sin(\lambda l) + C \operatorname{ch}(\lambda l) = 0, \end{cases} \quad (9)$$

которые являются независимыми.

Из системы (9) следует, что $B = D = 0$, а ненулевое решение системы (8) будет соблюдено при условии

$$\Delta = \begin{vmatrix} \sin(\lambda l) & \operatorname{sh}(\lambda l) \\ -\sin(\lambda l) & \operatorname{ch}(\lambda l) \end{vmatrix} = 0. \quad (10)$$

В случае нарушения условия (10) получаем, что $A = C = 0$ и единственное решение уравнений (1), (2), (3) является $V \equiv \tilde{V} \equiv 0$. Следовательно, при заданных условиях процесс колебаний не наблюдается.

С учетом того, что при $\lambda l \neq 0$, $sh(\lambda l) \neq 0$, получаем решение уравнения (10):

$$\sin(\lambda l) = 0; \lambda l = k\pi, k = 1, 2, 3, \dots \quad (11)$$

Из сопоставления (5) и (11) следует, что количество собственных частот балки бесконечно велико и они образуют спектр частот, выражаемый уравнением

$$\omega_k = \frac{k^2 \pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI_x}{m}}, \quad k = 1, 2, 3, \dots, \quad (12)$$

т.е. балка с непрерывно распределенными параметрами (массой и жесткостью) имеет бесконечное число степеней свободы [1, 2, 4]. Им соответствует бесконечное число форм колебаний, первые три из которых показаны на рис. 2. Все эти формы математически описываются выражением (4), принимающим для шарнирно опертой балки с учетом решения (10) вид

$$\tilde{V} = A \sin\left(\frac{k\pi}{l} z\right),$$

так как при выполнении равенств (10) из (8) следует, что $C = 0$, и из (7) получено $B = D = 0$. Значение амплитуды колебаний A остается неопределенным и может быть, казалось бы, каким угодно, но в силу третьего допущения к уравнениям (1) и (2) оно должно оставаться небольшим, иначе данное решение перестанет быть справедливым.

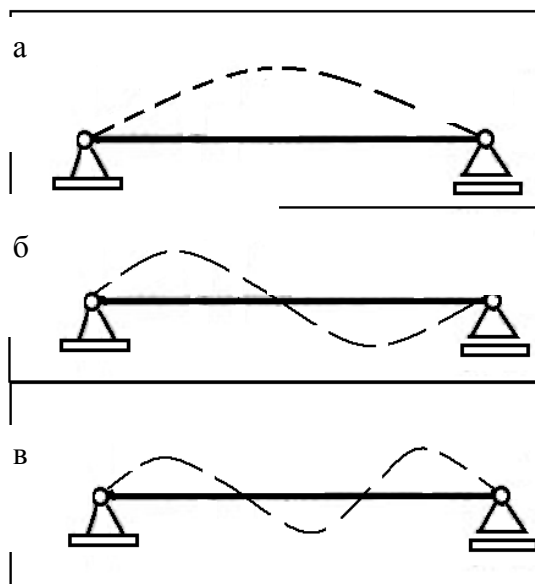


Рис. 2. Основные числа k форм колебаний: а – $k = 1$; б – $k = 2$; в – $k = 3$

Однако для практических целей обычно достаточно знать лишь несколько наименьших собственных частот. Поэтому полезно обратиться к разработанным в теоретической механике [1, 5] более простым методам нахождения частот свободных колебаний для систем с конечным числом степеней свободы. **Простейшей из них является система с одной степенью свободы** (рис. 3), имеющая единственную собственную частоту [1, 4, 5]:

$$\omega = \sqrt{\frac{c}{M}}, \quad (13)$$

где c – жесткость упругого элемента;

M – масса инерционного элемента системы.

Применим этот подход для приближенного нахождения наименьшей собственной частоты рассмотренной балки (см. рис. 1, 2) при $k = 1$, иначе говоря, **частоты колебаний основного тона**. Для этого балка заменяется ее моделью (рис. 4а), в которой вся масса сосредоточена в месте амплитудного значения искомой формы, а другой элемент системы – упругий скелет балки – обладает жесткостью, но не имеет массы. Эта конструкция принципиально не отличается от изображенной на рис. 3. К ней применима формула (13), но для этого следует уметь найти входящие в нее значения c и M .

Для установления коэффициента жесткости c нагрузим упругий скелет балки единичной силой, приложенной в месте нахождения массы (рис. 4б), и найдем с помощью справочников [1, 2, 3], содержащего решения статических задач, или любым известным в статике методом, вызванное этой силой перемещение $\delta^{(1)}$, а затем и жесткость c :

$$\delta^{(1)} = \frac{1 \cdot l^3}{48EI_x}; c = \frac{1}{\delta^{(1)}} = \frac{48EI_x}{l^3}. \quad (14)$$

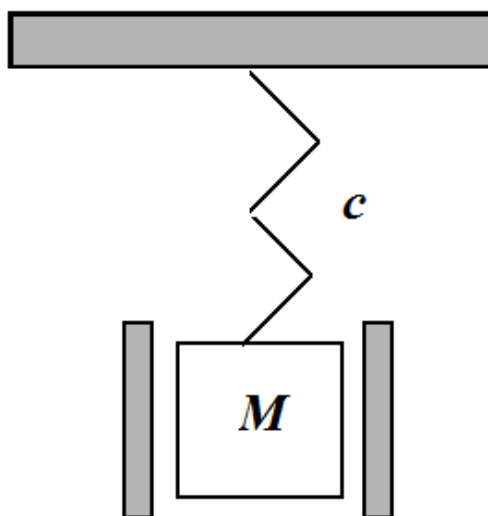


Рис. 3. Модель механической системы с одной степенью свободы

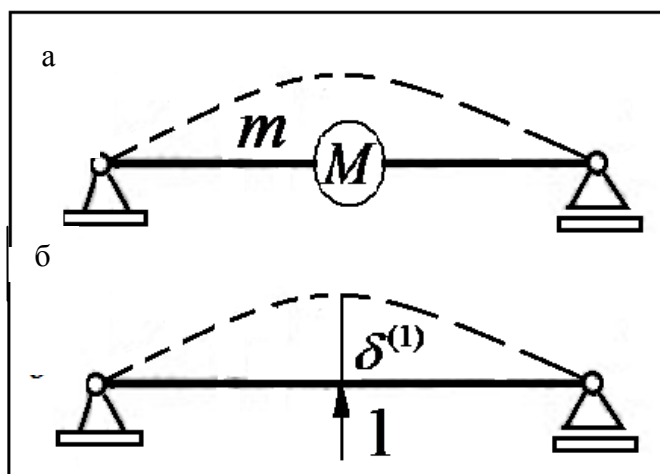


Рис. 4. Применение метода механического аналога для расчета собственной частоты системы методами теоретической механики: а – в модели балки; б – в модели с приложенной в центр массы силой (статический прогиб)

Величина M , называемая приведенной массой, находится из сопоставления системы на рис. 4а с действительной системой (см. рис. 1) и может быть определена разными способами:

- 1) из условия равенства кинетической энергии этих систем;
- 2) равенства их количества движения;
- 3) равенства потенциальной энергии подъема или опускания действительной (распределенной) и приведенной (сосредоточенной) масс;
- 4) сохранения суммы кинетической и потенциальной энергии системы с приведенной массой и т.д.

Используем первое из названных условий. Кинетическая энергия при движении распределенной массы составляет

$$T_p = \frac{1}{2} \int_0^l m \dot{V}^2 dz = \frac{1}{2} m \omega^2 \cos^2 \omega t \int_0^l \tilde{V}^2 dz, \quad (15)$$

где $\dot{V}$ – скорость движения;

функция V может быть определена в виде (2).

Кинетическая энергия при движении сосредоточенной массы представлена следующим образом:

$$T_C = \frac{1}{2} M \dot{V}^2 = \frac{1}{2} M \omega^2 \cos^2 \omega t \cdot \tilde{V}^2, \quad z = 0,5l. \quad (16)$$

Приравнивая (15) и (16) между собой, получаем формулу

$$M = \frac{m}{\tilde{V}_{z=0,5l}^2} \int_0^l \tilde{V}^2 dz. \quad (17)$$

Вместо $\tilde{V}(z)$ в уравнение (17) подставляется функция, соответствующая форме искомого вида колебаний (см. рис. 2а) с учетом граничных условий, описываемых системой (9). С учетом вышесказанного такая функция может быть представлена в виде статического прогиба (см. рис. 4б):

$$\tilde{V} = \delta^{(1)} \frac{(3l^2 z - 4z^3)}{l^3}. \quad (18)$$

Подставляя уравнение (18) в (17) с учетом (14), получаем массу инерционного элемента системы:

$$M = \frac{17}{35} ml.$$

Следовательно, собственная частота механической системы, определяемая по формуле (13) с учетом (13), примет вид

$$\omega = \frac{1}{l^2} \sqrt{\frac{48 \cdot 35 EI_x}{17m}} = \frac{9,94}{l^2} \sqrt{\frac{EI_x}{m}}. \quad (19)$$

Сопоставляя формулу (19) с (12), найденную при решении дифференциального уравнения (при $k = 1$), получим

$$\omega_{k=1} = \frac{9,87}{l^2} \sqrt{\frac{EI_x}{m}},$$

следовательно, можно сделать вывод о возможности применения энергетического подхода для нахождения собственной частоты колебания механической системы. При этом относительная погрешность составляет 0,7 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассматривая точный метод, позволяющий определить спектр собственных частот, можно констатировать, что его применение к более сложным стержневым конструкциям, имеющим более сложные способы закрепления, процесс составления определителя вида (10) (и особенно процесс нахождения корней полученного уравнения) является достаточно трудоемким.

Сопоставляя продемонстрированные методы определения собственных частот механических колебаний, можно отметить, что энергетический подход к определению указанного динамического параметра является наиболее удобным и может быть распространен на многоуровневый подход описания волновых процессов деформаций и

разрушения рассматриваемых объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов М.В. Теоретическая механика. М.: Наука. 1986. 336 с.
2. Камалов А.З. Краткий курс лекций по теории колебаний. Казань: КГАСУ. 2006. 128 с.
3. Сопротивление материалов / Г.С. Писаренко, В.А. Агарев, А.Л. Квитка, В.Г. Попков, Э.С. Уманский. Киев: Техника. 1967. 775 с.
4. Биргер И.А., Пановко Я.Г. Прочность, устойчивость, колебания: в 3 т. М.: Машиностроение. 1968. Т. 3. 567 с.
5. Бабаков И.М. Теория колебаний. М.: Дрофа. 2004. 591 с.
6. Савич В.Л. Обоснование основных параметров оборудования для виброкорчевки пней и целых деревьев: дис... канд. техн. наук. Ухта, 2012. 188 с.
7. Юнин Е.К., Хегай В.К. Динамика глубокого бурения. М.: Недра. 2004. 286 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ХЕГАЙ Валерий Константинович – доктор технических наук, профессор кафедры механики, ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», 169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская, д. 13.

ГУЛЬТЯЕВ Вадим Иванович – доктор технических наук, заведующий кафедрой автомобильных дорог, оснований и фундаментов, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: vig0@mail.ru

ЧУРЮМОВ Вячеслав Юзикович – кандидат технических наук, доцент кафедры механики, ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», 169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская, д. 13.

САВИЧ Василий Леонидович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой механики, ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», 169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская, д. 13. E-mail: vsavitch@yandex.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Хегай В.К., Гультяев В.И., Чурюмов В.Ю., Савич В.Л. О методах определения собственных колебаний объектов // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2020. № 1 (5). С. 44–53.

ABOUT METHODS FOR DETERMINING OWN VIBRATIONS OF OBJECTS

V.K. Khagai¹, V.I. Gulyaev², V.Y. Churyumov¹, V.L. Savich¹

¹Ukhta State Technical University (Ukhta)

²Tver State Technical University (Tver)

Abstract. In this paper, we discuss methods for determining the natural frequencies of oscillations of mechanical systems in two main ways: on the one hand, by a direct solution of the differential equation of oscillations; on the other hand, an energy approach using a mechanical analogue as a mechanical system with one degree of freedom. As a result of the solution of the

problem, an analysis was made of the methods of solution for determining the natural frequencies of vibrations, as a result of which results were obtained that allow us to argue about the possibility of applying the energy approach to determine the natural frequencies of vibrations of a mechanical system. This will simplify the tasks of research related to the dynamics and strength of various designs. It can also be noted that the energy approach to determining the specified dynamic parameter is the most convenient and can be extended to a multilevel approach to describing the wave processes of deformation and fracture of the objects under consideration.

Keywords: vibration frequency, design, mechanical system, energy approach, resonance, kinetic energy, rigidity.

REFERENCES

1. Popov M.V. *Teoreticheskaja mehanika: kratkij kurs* [Theoretical mechanics: Short course]. M.: Nauka, 1986. 336 p.
2. Kamalov A.Z. *Kratkij kurs lekcij po teorii kolebanij* [A short course of lectures on the theory of oscillations]. Kazan: Kazanskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet. 2006. 128 p.
3. Pisarenko G.S., Agarev V. A., Kvitka A. L., Popkov V.G., Umanskij Je.S. *Soprotivlenie materialov* [Resistance of materials]. Kiev: Tehnika, 1967. 775 p.
4. Birger I.A., Panovko Ja.G. *Prochnost', ustojchivost', kolebanija* [Strength, stability, fluctuations]. Vol. 3. M: Mashinostroenie, 1968. 567p.
5. Babakov I.M. *Teorija kolebanij* [Theory of oscillations]. M.: Drofa, 2004. 591 p.
6. Savich V.L. Substantiation of the main parameters of equipment for vibro-rooting of stumps and whole tree. Cand. Diss. (Engineering). Uhta. 2012. 188 p. (In Russian).
7. Junin E.K., Hegaj V.K. *Dinamika glubokogo burenija* [The dynamics of deep drilling]. M.: Nedra, 2004. 286 p.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

KHEGAI Valery Konstantinovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mechanics, Ukhta State Technical University, 13 Pervomayskaya St., Ukhta, Republic of Komi, 169300, Russia.

GULTYAEV Vadim Ivanovich – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Roads, Substructures and Foundations, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vig0@mail.ru

CHURYUMOV Vyacheslav Yuzikovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanics, 13 Pervomayskaya St., Ukhta, Republic of Komi, 169300, Russia.

SAVICH Vasily Leonidovich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Mechanics, 13 Pervomayskaya St., Ukhta, Republic of Komi, 169300, Russia. E-mail: vsavitch@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Khagai V.K., Gulyaev V.I., Churyumov V.Y., Savich V.L. About methods for determining own vibrations of objects // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2020. No. 1 (54), pp. 44–53.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА



УДК 621.3.089.4

ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УЧЕТА КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ИХ ВНЕДРЕНИЯ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

С.В. Маринова

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

Аннотация. В статье рассмотрены структура и варианты построения интеллектуальных систем учета для их проектирования и оценки эффективности внедрения. Подчеркнуто, что концепция интеллектуального учета является важной и рекламируется как прорывная технология, которая позволит и бытовым потребителям, и поставщикам коммунальных услуг экономить расходы. Статья направлена на то, чтобы дать возможность заинтересованным лицам лучше понять ценность и важность интеллектуальных систем учета, описывает состав и возможности интеллектуальных систем.

Ключевые слова: интеллектуальные системы, учет, smart metering, проектирование.

ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергетика является доминирующей отраслью в любой экономике. Сейчас возникла острая потребность в средствах управления этим ресурсом. Интеллектуальный учет (smart metering) электроэнергии как новая инфраструктура требует больших предварительных инвестиций, но непонятно, каков будет размер затрат и какова прибыль. Эта концепция представляет большую ценность для энергетических компаний, поскольку помогает снизить затраты, избежать будущих инвестиций и повысить основные показатели процессы. В российских условиях возможности интеллектуальных систем учета пока только обсуждаются на законодательном и техническом уровнях. Повсеместное и массовое развертывание интеллектуальных систем учета приведет к возрастанию количества инвестиций в коммунальные услуги и, как следствие, к увеличению тарифов, которыми будут пользоваться конечные потребители.

Цель проектирования и внедрения интеллектуальных систем учета (ИСУ) – определение оптимального состава технологии интеллектуального учета, который бы обеспечил высокую надежность электроснабжения, значительное снижение потерь энергокомпаний, оптимизацию системы энергопотребления.

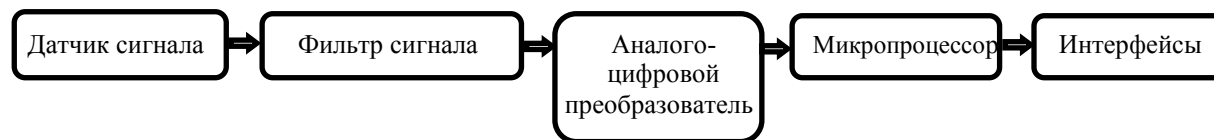
СОСТАВ SMART METERING КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Устройство интеллектуальных счетчиков

Интеллектуальные счетчики облегчают двустороннюю связь между потребителями и поставщиками электроэнергии, благодаря чему возникает множество возможностей для обеих сторон. Следовательно, необходимо лучше понять ценность и важность интеллектуальных измерений.

Счетчики, относящиеся к поколению интеллектуального учета, должны в полной мере использовать функции автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии, что позволит создать инфраструктуру с двунаправленной связью между счетчиком (на стороне потребителя) и поставщиком услуг [1].

Архитектура интеллектуального счетчика состоит из пяти частей (рисунок).



Архитектура интеллектуального счетчика

В настоящее время в Российской Федерации отсутствуют нормативные требования к интеллектуальным счетчикам и системам учета, однако требования к ним обсуждаются. Минэнерго опубликовал Проект Постановления Правительства РФ о минимальных требованиях к интеллектуальным счетчикам и системам учета электроэнергии [2].

Проект Постановления содержит перечень функций приборов учета электрической энергии, которые могут быть присоединены (интегрированы) к интеллектуальной системе учета электрической энергии (мощности), и требования к ним.

Прибор учета электрической энергии для присоединения к интеллектуальной системе учета должен:

измерять активную и реактивную энергии в сетях переменного тока в двух направлениях (для трехфазных сетей – суммарно и отдельно по фазам);

иметь класс точности не хуже 1,0 по активной энергии и 2,0 по реактивной энергии (не хуже 0,5S по активной энергии и 1,0 по реактивной энергии для приборов учета электрической энергии трансформаторного включения);

иметь межповерочный интервал не менее 16 лет для однофазных приборов учета электрической энергии и 12 лет для трехфазных приборов учета электрической энергии;

осуществлять ведение времени с абсолютной погрешностью хода внутренних часов не более 5,0 с в сутки с сохранением ведения времени не менее 10 лет с момента пропадания напряжения в питающей сети;

отображать на встроенном и (или) выносном цифровом дисплее текущие дату, время, текущее потребление активной энергии, фиксировать журнал событий прибора;

иметь несколько цифровых интерфейсов и обладать прочими возможностями современного микропроцессорного средства измерения [2].

Перечисленные функции прибора, присоединяемого в интеллектуальную систему учета, полностью повторяют требования к приборам учета, предъявляемым на оптовом рынке электроэнергии и мощности (ОРЭМ) [3]. Дополнительными требованиями к счетчикам в интеллектуальных системах учета, по сравнению с функциями счетчиков на ОРЭМ, являются измерения мощности за короткие интервалы, а также длительности, даты провалов (отсутствия) питающего напряжения. Интеллектуальные счетчики должны улучшить не только учет, но и качество самого сетевого сервиса.

Коммуникационные и сетевые технологии

Коммуникационные и сетевые технологии в основном делятся на две категории: проводные и беспроводные технологии. Обе эти технологии (проводные и беспроводные) имеют свои преимущества и недостатки, например, беспроводные технологии являются

недорогими решениями (по сравнению с проводными) и требуют низких затрат на установку счетчиков и дальнейшую эксплуатацию. Однако проводные технологии – более безопасный способ передачи данных (по сравнению с беспроводной технологией). Выбор технологии зависит от конкретных требований (дискретности сбора данных, интервала измерений и т.д.).

Связь как передача данных будет определять эффективность интеллектуальных систем учета. Перечислим некоторые широко используемые технологии связи для применения в интеллектуальных системах.

Технология **ZigBee** была построена по европейскому стандарту IEE 802.15.4, работает в диапазонах 2,4 ГГц и 900 МГц. Стандарт IEE 802.15.4 определяет физический уровень и управление доступом к среде для беспроводных персональных сетей с низким уровнем скорости [4]. Это стандарт для набора высокоуровневых протоколов связи, использующих небольшие, маломощные цифровые трансиверы [5]. Применение такого способа радиосвязи ограничивается диапазоном от 10 м внутри помещения до 100 м на открытых пространствах в зависимости от конкретных условий.

Сеть ZigBee может поддерживать до 255 устройств (счетчиков) в сети, работает по принципу «ведущий-ведомый» («master-slave»), обеспечивает двустороннюю связь.

Стандарт IEE 802.15.4 поддерживает различные топологии (такие как «звезда», «дерево»), но имеет ограничения по применению из-за своей низкой мощности и скорости, а также из-за небольшой дальности действия. Поэтому его не рекомендуется использовать для приложений с большим объемом данных в реальном времени и требованиями к быстродействию. По этой же причине не стоит применять ZigBee в сельской местности. Тем не менее сеть ZigBee рекомендуется использовать в счетчиках, локальных устройствах сбора данных (маршрутизаторах), а для передачи данных на дальние расстояния (до сервера сбора данных) – сеть Ethernet.

Технология передачи данных по **Power Line Communication (PLC)** больше подходит для удаленных мест, где покрытие сотовой связи или GPRS недоступны или где число потребителей относительно невелико. Технология PLC имеет низкую пропускную способность (до 20 Кбит/с), но ее преимущества заключаются в том, что она имеет низкую стоимость эксплуатации, может быть использована на базе существующей инфраструктуры, а также имеет низкую начальную стоимость. Для поставщиков коммунальных услуг технология PLC является лучшим вариантом для построения интеллектуальных систем учета.

Технология **ModBus** основана на методе «ведущий-ведомый» («master-slave») для передачи данных, была разработана корпорацией Modicon и использует метод соединения «клиент – сервер» с интерфейсом RS-232C (программируемые логические контроллеры). Благодаря своей простоте и надежности сегодня это один из широко применяемых протоколов связи. Простота и доступность обусловили популярность ModBus в локальной связи, а также использование его в качестве стандарта для промышленных систем (например, таких как SCADA). Протокол изначально разработан для передачи низкоскоростных последовательных соединений в сети управления процессами, поэтому в нем не были решены проблемы безопасности, он не поддерживает аутентификацию, шифрование, он менее защищен от кибератак.

Технология **GSM** широко известна (одна из самых распространенных в мире). Но перед внедрением системы с использованием GSM необходимо предварительное обследование доступности этого вида связи и мощности сигнала.

Ethernet является недорогим методом связи и широко применяется для передачи данных между устройствами сбора данных на основе PLC и сервером сбора данных. Ethernet прокладывается с использованием оптоволокна, экранированной «витой пары» или коаксиального кабеля. Таким образом, Ethernet требует кабельной разводки, затрат на эксплуатацию, участия IT-специалистов, что делает такой способ менее выгодным и нелегко реализуемым.

В последние годы технология беспроводной локальной сети с устройствами на основе стандартов IEEE 802.11 **Wi-Fi** [6] приобрела большую популярность, потому что беспроводные устройства просты в установке и дешевы. Но из-за проблем с безопасностью применения ее нечасто употребляют для измерений. Wi-Fi может использовать существующую беспроводную локальную сеть (WLAN) и быть масштабируемой. Такая система связи является недорогой, дистанционно управляемой, автоматически конфигурируемой и повсеместно доступной.

Дискретность обмена данными

Интервал измерений и дискретность обмена данными определяют степень анализа, который можно провести с измеренными и полученными значениями.

Типовые интервалы для сбора данных в нежилых зданиях, принятые в западных странах, –30 и 15 мин. Такие интервалы считаются достаточными для анализа данных (позволяют осуществлять оптимально управление освещением, включением/выключением кондиционеров, нечасто изменять нагрузки). Для устройств с более частыми изменениями состояния питания или с очень низким уровнем потребления энергии (например, компьютеры, экраны и принтеры) может потребоваться более плотная частота дискретизации.

Дискретность сбора данных, равная 1 мин, полезна для некоторых конкретных целей, но редко доступна в существующих коммерческих системах.

На дискретность сбора данных также влияет структура сети, т.е. число счетчиков, подключенных к каждому устройству сбора данных, количество устройств сбора данных. Следовательно, в сети сбора данных с большим количеством счетчиков задержка между извлечением данных из первого и последнего счетчика может составлять несколько минут. Эта проблема может быть решена путем увеличения количества установленных устройств сбора данных, что повышает стоимость такого решения. В этом случае важен компромисс между требованиями к дискретности сбора данных и затратами на систему.

Простота наладки системы

Беспроводные счетчики на базе технологии PLC снижают стоимость установки, а также обеспечивают большую гибкость.

Факторы, которые следует учесть при развертывании интеллектуальных систем учета:

- новые устанавливаемые счетчики должны быть совместимы с существующей системой, в том числе с протоколами передачи, IT-сетью;

- беспроводная способность новых счетчиков должна быть проверена (нагрузка на сеть новых счетчиков не превышает допустимую);

- новые счетчики должны быть доступны легко для установки и обслуживания;

- при монтаже и эксплуатации должны соблюдаться правила безопасности при установке и обслуживании счетчиков.

Стоимость оборудования

Стоимость оборудования определяется в качестве основного фактора при принятии решения об инвестировании в измерительное оборудование.

В затраты необходимо, кроме первоначальных затрат на закупку оборудования и пуско-наладочные работы, заложить эксплуатационные расходы, связанные с заменой оборудования, ремонтом, обслуживанием.

В отсутствии четких критериев по затратам на ввод системы и экономией, которую могут дать эти системы, стоимость воспринимается как фактор финансового риска. В результате количество счетчиков, подключенных в интеллектуальную систему учета, обычно ограничивают минимумом для обеспечения адекватного контроля.

Счетчики из поколения счетчиков интеллектуального учета должны в полной мере использовать функции автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии, что позволит создать инфраструктуру с двунаправленной связью между счетчиком (на стороне потребителя) и поставщиком услуг. По разным оценкам, цена такого интеллектуального счетчика зависит от протокола связи, способа построения системы и ее функциональных возможностей (колеблется в западных странах в пределах 300–700 долларов [7]).

Интеллектуальный счетчик – устройство с рядом функций и возможностей, которые делают оборудование более сложным (оно содержит большее число компонентов). Есть простое правило теории надежности – чем больше компонентов, тем ниже надежность. Другими словами, сложные системы, состоящие из элементов высокой надежности, могут обладать низкой надежностью из-за наличия большого числа элементов.

При выборе элементной базы для любой системы при соотношении «цена – качество» ведущим критерием должно стать качество. На первый взгляд, снизить затраты можно за счет ценового конкурса с минимальной ценой, а вот уменьшить цену можно за счет сокращения количества компонентов счетчика. Минимальная цена счетчика возможна при закупке составляющих частей крупной партией (следовательно, с большой скидкой); при приобретении компонентов счетчика низкого качества (например, с худшим температурным коэффициентом, со скрытой неработоспособностью) или с «клонами» и «репликами» микросхем известных производителей и т.д. Указанные недостатки не удастся скомпенсировать большим гарантийным сроком в технических требованиях, формируемых сетевой компанией для конкурсных торгов. Часто в данных случаях производители оборудования идут на увеличение гарантийного срока от 3 лет (по закону о защите прав потребителей) до срока межповерочного интервала. При этом затраты на демонтаж вышедшего из строя счетчика и монтаж нового все равно ложатся на энергокомпанию. Дешевое ненадежное устройство обходится энергокомпании дороже, а выгода приобретения такого устройства сомнительна.

В европейских странах существует официальная статистика, подтверждающая фактическую надежность и отказоустойчивость оборудования различных производителей, таких как Elster, Landis&Gyr, Iskraemeco, Itron, что позволяет планировать затраты как на внедрение интеллектуальных систем, так и расходы на их эксплуатацию в течение всего жизненного цикла. В России при проектировании систем для оценки надежности и калькуляции запаса инструментов и принадлежностей применяются такие показатели, как интенсивность отказов, средняя наработка на отказ из описания типа, паспорта, руководства по эксплуатации средства измерения, официальной справки производителя (поставщика). Статистика по фактической надежности не публикуется. Известны случаи,

когда потребовалась замена до 40 % из партии однофазных счетчиков, установленных в Московском регионе из-за отказа электролитического конденсатора [8]. При проектировании интеллектуальных систем учета должен учитываться не только параметр «цена внедрения системы», но и параметр «эксплуатационные расходы с учетом фактических показателей надежности всех компонентов».

Репутация и надежность производителя

Счетчики конкретного производителя, с практической точки зрения, должны быть доступны; должно затрачиваться время для доставки запасных частей, ремонта, а также осуществляться предоставление технической поддержки в режиме он-лайн.

Надежность поставщика системного оборудования, в том числе счетчиков электроэнергии, программного обеспечения, должна быть хорошо изучена и гарантирована. Доступность продукта (счетчиков и других комплектующих системы) является одним из наиболее важных факторов при принятии решения о том, какие устройства следует устанавливать.

Совместимость

Функциональная совместимость в самом широком смысле может быть определена как способность продуктов и услуг работать вместе и обмениваться информацией на всех этапах жизненного цикла без потери семантики. В основе совместимых решений лежит стандартизированное представление. Стандартизированное представление необходимо при обмене данными между средствами измерения; в этом случае компоненты системы будут связаны друг с другом независимо от разных производителей и физической среды. Сегодня на рынке доступны решения разных производителей для построения интеллектуальных систем учета с различными протоколами связи, архитектурами. Это усложняет обстановку на рынке энергетических систем, поскольку требуются беспрецедентное партнерство в различных областях, непривычный и крайне интенсивный обмен технологиями для успешной интеграции компонентов с двунаправленной передачей информации и энергии.

Безопасность

Безопасность – один из самых серьезных вызовов при построении больших интеллектуальных систем, в том числе систем учета электроэнергии.

Конфиденциальность данных о потребителях в области энергетики должна соблюдаться, поскольку потребители не хотят делиться информацией, касающейся их расходов, с посторонними людьми или маркетинговыми фирмами.

Система должна гарантировать программно-техническую защиту всех входящих в нее компонентов на этапах сбора, обработки, хранения и передачи информации. Защита информации должна обеспечиваться в соответствии с законодательством Российской Федерации, т. е. интеллектуальная система должна отвечать требованиям Федерального закона от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных» [9] и Федерального закона от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» [10].

Протоколы беспроводной связи более уязвимы, поскольку для передачи данных используется эфир (открытая среда). Различные органы стандартизации работают над созданием безопасных каналов передачи данных. Беспроводные протоколы будут защищены с помощью таких технологий, как стандарты IEEE 802.11i, IEEE 802.16e. С другой стороны, проводные соединения будут менее уязвимы при использовании

виртуальных частных сетей (VPN), брандмауэра, а также защищенной оболочки (SSH), уровня сокетов безопасности (SSL).

Обратная связь с потребителем электроэнергии

В европейских странах интеллектуальные системы учета развиваются и дополняются удобными интерфейсами, чтобы потребитель смог получить данные своего «умного счетчика» и контролировать использование электроэнергии. Таким образом, признается необходимость взаимодействия с конечными потребителями для эффективной работы интеллектуальных систем учета. Проведенные в Великобритании испытания показали, что энергоэффективность интеллектуальных сетей возрастает, когда конечный потребитель получает доступ к данным своего электропотребления и может влиять на режим нагрузки.

Потребители получают выгоду от удаленного считывания показаний счетчиков, автоматического обнаружения и устранения неисправностей, а также от наличия учета в двух направлениях (потреблении и генерации), при дальнейшем массовом развитии микрогенерации (например, использования возобновляемых источников энергии).

Еще дополнительным набором возможностей, стимулирующих использование «интеллектуальных приборов учета», называются:

интеграция с устройствами других систем, других энергоносителей;

взаимодействие с биллинговыми системами энергосбытовых компаний, с информационными системами (в том числе с банковскими);

дистанционная настройка интеллектуального счетчика для смены тарифа, отключения или ограничения и т.д.

Эффективность

Опыт стран, входящих в Европейский союз, и США показал, что интеллектуальные системы учета должны внедряться не повсеместно, а после оценки экономической выгоды и технической возможности отдельных районных сетей и объектов производства электрической энергии (мощности). В ряде западных стран положительная оценка стоимости внедрения интеллектуальных систем учета ставится под сомнение, что несет не только отрицательный экономический эффект, но и снижает политическую поддержку со стороны населения. Так, в середине 2013 г. в Германии установка интеллектуальных счетчиков была приостановлена после аналитического отчета, в котором определялось, что стоимость установки счетчиков перевесит выгоды для отдельных потребителей. Тогда же аналогичная ситуация сложилась в Северной Америке, которая когда-то была ведущим рынком для инвестиций в интеллектуальные системы учета, но не удержала своих лидирующих позиций [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Умные счетчики (smart meter), входящие в систему, контролируют параметры сети и выявляют проблемные зоны, а измерение максимальной мощности потребителя позволяет оценить реальную нагрузку в сети и в дальнейшем направить инвестиции именно туда, где они необходимы. Интеллектуальные счетчики способны улучшить не только учет, но и качество самого сетевого сервиса, поскольку применяются в различных - от обнаружения краж до надежности сети. Эффективность достигается сближением между интеллектуальным измерением и автоматизацией распределения.

Приоритетные направления развития интеллектуальных систем учета включают:

- 1) установку умных счетчиков и обеспечение двусторонней связи;
- 2) развитие портала потребителя/домашнюю сеть;
- 3) управление данными счетчиков;
- 4) систему информирования потребителей,
- 5) обучение потребителя.

Инвестиционные затраты на интеллектуальные системы учета должны рассматриваться с точки зрения системного подхода и сопоставляться с особенностями и характеристикой конкретного энергообъекта или участка распределительных сетей, инфраструктурой связи, ожидаемой экономией от регулирования спроса, распределенным хранением и наличием распределенной генерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ezeodili Echezona Ugonna, Adebo King Ademola, Akinbulire Tolulope Olusegun. Design and construction of a smart electric metering system for smart grid applications: Nigeria as a case study. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 2018. Vol. 9. Iss. 7, pp. 798–805.
2. Об утверждении правил предоставления доступа к минимальному набору функций интеллектуальных систем учета электрической энергии (мощности): проект Постановления Правительства РФ. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=PNPA&n=47922#09248613639775036> (дата обращения: 31.05.2019).
3. Осика Л.К. Smart metering – «интеллектуальный учет» электроэнергии. Определения и задачи // *Новости электротехники*. 2011. № 5 (71). С. 19–24.
4. IEEE 802.15.4. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4 (дата обращения: 31.05.2019).
5. ZigBee. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ZigBee> (дата обращения: 31.05.2019).
6. IEEE 802.11. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11 (дата обращения: 31.05.2019).
7. Muhammad Waseem Ahmad, Monjur Mourshed, David Mundow, Mario Sisinni, Yacine Rezgui. Building energy metering and environmental monitoring – A state-of-the-art review and directions future research // *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 120, pp. 85–102.
8. Балашов О.В. Качество или цена // *Энергетика и промышленность России*. 2005. № 5 (57). С. 67–70.
9. О персональных данных: Федер. закон [принят Гос. Думой 08.07.2006]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801/ (дата обращения 31.05.2019).
10. О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации: Федер. закон [принят Гос. Думой 12.07.2017]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_220885/ (дата обращения 31.05.2019).
11. Global trends in smart metering. URL: <https://www.smart-energy.com/magazine-article/global-trends-in-smart-metering/> (дата обращения: 31.05.2019).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

МАРИНОВА Светлана Васильевна – старший преподаватель кафедры электроснабжения и электротехники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: sv.marinova@yandex.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Маринова С.В. Задачи проектирования интеллектуальных систем учета как инструмент для принятия решений их внедрения и оценки эффективности // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2020. № 1 (5). С. 54–63.

**SMART METERING SYSTEM DESIGN TASKS AS A DECISION TOOL
TO IMPLEMENTATION AND EFFICIENCY MARK****S.V. Marinova***Tver State Technical University (Tver)*

Abstract. Structure of smart metering system and construction options is considered in the article for implementation and efficiency mark. The concept of smart metering is an important one and has been touted as the disruptive technology which will enable both residential consumers and utility providers save costs. This article therefore aims to create a better understanding of the value and importance of smart metering, describes the composition and system smart metering capabilities.

Keywords: intelligent systems, smart metering, design.

REFERENCES

1. Ezeodili Echezona Ugonna, Adebo King Ademola, Akinbulire Tolulope Olusegun. Design and construction of a smart electric metering system for smart grid applications: Nigeria as a case study. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 2018. Vol. 9. Iss. 7, pp. 798–805. URL: <http://www.ijser.org> (date of access: 31.05.2019).
2. On approval of the rules for granting access to the minimum set of systems smart metering electricity (power) functions (prepared by the Ministry of Energy of the RF). URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=PNPA&n=47922#09248613639775036> (date of access: 31.05.2019). (In Russian).
3. Osika L.K. Smart metering – intelligent smart metering electricity. Definitions and objectives. *Novosti elektrotehniki*. 2011. No. 5 (71), pp. 19–24. (In Russian).
4. IEEE 802.15.4. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4 (date of access: 31.05.2019). (In Russian).
5. ZigBee. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ZigBee> (date of access: 31.05.2019). (In Russian).
6. IEEE 802.11. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11 (date of access: 31.05.2019). (In Russian).
7. Muhammad Waseem Ahmad, Monjur Mourshed, David Mundow, Mario Sisinni, Yacine Rezgui. Building energy metering and environmental monitoring – A state-of-the-art review and directions future research. *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 120, pp. 85–102. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816302158> (date of access: 31.05.2019). (In Russian).

8. Balashov O.V. Quality or price. *Energetika i promyshlennost' Rossii*. 2005. No. 5 (57), pp. 67–70. (In Russian).
9. About personal data: order of the Government of the Russian Federation of 27.07.2006 No. 152-p. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801/ (date of access: 31.05.2019). (In Russian).
10. About security of critical information infrastructure of Russian Federation [Electronic resource]: order of the Government of the Russian Federation of 27.07.2017 No. 187-p. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_220885/ (date of access: 31.05.2019). (In Russian).
11. Global trends in smart metering. URL: <https://www.smart-energy.com/magazine-article/global-trends-in-smart-metering/> (date of access: 31.05.2019). (In Russian).

INFORMATION ABOUT AUTHOR

MARINOVA Svetlana Vasilevna – Senior Lecturer of the Department of Power Supply and Electrical Equipment, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: sv.marinova@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Marinova S.V. Smart metering system design tasks as a decision tool to implementation and efficiency mark // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2020. No. 1 (5), pp. 54–63.

УДК 621.311.1.003

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕХАНИЗМА ЦЕНОЗАВИСИМОГО СНИЖЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ

С.В. Маринова

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

Аннотация. В статье рассмотрен механизм ценозависимого потребления. Проанализированы основные недостатки и возможности применения этого механизма в России.

Ключевые слова: ценозависимое потребление, demand response, график нагрузки, оплата электроэнергии.

Электроэнергетика является основополагающей отраслью большинства экономических систем, в том числе России. Структура электроэнергетики сложна и включает в себя и производство, и потребление.

Практика потребления электроэнергии оказывает значительное влияние на расходы, связанные с ее оплатой. Структура электроэнергетической отрасли России представлена на рис. 1.

Генерация представляет собой конкурентный сегмент, куда входят как государственные, так и частные российские и иностранные частные компании.



Рис. 1. Структура электроэнергетической отрасли России

Генерирующие компании поставляют выработанную электроэнергию в сеть или напрямую крупным промышленным потребителям. Совокупная установленная мощность неуклонно растет в последние годы; это явилось результатом реформы, направленной на повышение конкуренции в отрасли, модернизацию оборудования, привлечение финансовых инвестиций в экономику страны.

Сетевые организации обеспечивают передачу электроэнергии, технологические присоединение потребителей. Деятельность сетевых компаний регулируется государством, поскольку они являются естественными монополиями и должны обеспечивать предоставление потребителям равноправный доступ к услугам сетей.

Сбытовые компании не владеют ни генерирующими мощностями, ни сетями, но приобретают электроэнергию у сетевых компаний и в дальнейшем продают ее конечным пользователям.

Вся энергетическая система функционирует во взаимодействии технологической и коммерческой инфраструктур; последнюю контролирует государство. Система должна обеспечивать оптимальные технико-экономические показатели производства, распределения и продажи электроэнергии.

Современные тенденции в электроэнергетике, развитие телекоммуникационной структуры, появление интеллектуальных сетей, широкое распространение интервальных

счетчиков, обязательное применение автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии для средних и крупных промышленных потребителей [1] привели к повышению эластичности рынка и возникновению в российской энергетике механизма demand response, название которого переводят как «управление спросом», или «ценозависимое снижение потребления» (ЦЗСП).

Интерес к реакции спроса на электроэнергию, к изменениям цен на нее возник после мирового энергетического кризиса 1970-х годов. На данный момент концепция управления спросом успешно адаптирована в более чем 30 странах мира. В 1970-х годах значительно выросли цены на основные энергоносители, что привело к общему снижению энергопотребления в развитых странах и перераспределению спроса на энергию между конкретными энергоресурсами. Рост цен на электроэнергию, технологическая основа российской экономики позволяют отмечать некоторые аналоги эластичности спроса по цене на электроэнергию между Россией и западными странами.

Эластичность спроса на электроэнергию отражает интенсивность реакции потребителей на изменения цены со стороны поставщика электроэнергии.

Прогнозируется, что краткосрочная, т.е. в рамках одного года, эластичность потребления электроэнергии по цене обычно невелика, поскольку в краткосрочном плане сложно найти замену электричеству, поставляемому потребителям энергосетевыми компаниями. Рост цены на энергоресурсы законодательно ограничен и в процентном отношении должен удерживаться в рамках ожидаемой инфляции. На это направлен ряд мероприятий: принятие постановлений Правительства РФ о предельном уровне тарифов на электроэнергию, введение соцнормы для населения, тарифных пакетов для различных категорий потребителей.

Долгосрочная ценовая эластичность для промышленных потребителей значительно выше оценок краткосрочной эластичности. Это связано с тем, что в долгосрочном плане можно предусмотреть внедрение энергосберегающих технологий, собственных источников электроэнергии.

Управление спросом подразумевает комплекс мер, нацеленных на изменение характера электропотребления конечными потребителями из-за изменения стоимости электроэнергии в течение времени, либо благодаря компенсационным выплатам, разработанным для стимулирования к снижению потребления во время пиков нагрузки или в случае возникновения угрозы функционирования энергосистемы [2].

Вовлечение потребителей в оптимизацию энергоснабжения может опираться на опыт энергетики, сложившийся во времена СССР. Теоретические и практические основы управления нагрузками потребителей были заложены еще в 30-е годы XX столетия [3]. Последующее развитие данного направления в условиях плановой экономики обеспечило эффективное использование так называемой «заявленной мощности» промышленными потребителями.

В Министерстве черной металлургии СССР был разработан механизм, позволяющий при неизменной (или даже увеличивающейся) установленной мощности электроприемников целенаправленно снижать электропотребление в период прохождения максимума энергосистемы. Прежде всего осуществлялись корректировка технологических процессов, согласованное изменение графика рабочего времени, перенос времени обеденных перерывов и т.д. Затем реализовывались технологические решения, обеспечивающие разгрузку электроемкого оборудования на 1–2 ч в сутки. Далее

разрабатывался план установки нового оборудования, позволяющего снижать электропотребление с минимизацией издержек для основного технологического процесса.

В результате снижения расхода электроэнергии в период прохождения максимума нагрузки энергосистемы предприятия осуществляли функции регуляторов электропотребления. В последующем к использованию предлагались другие механизмы вовлечения потребителя в регулирование графика нагрузки, например, на основе добровольного ограничения нагрузки (ДОН) [4].

По мере доступности различают следующие виды нагрузок, используемых для снижения потребления:

- наименее важные для технологического процесса и вспомогательные нагрузки;
- нагрузки, отключаемые с наименьшим ущербом для предприятия;
- нагрузки, допустимые для отключения без останова основного производства;
- частичное или полное прекращение процесса производства.

Предполагается, что розничный потребитель электроэнергии может заключить со сбытовой компанией соглашение о добровольном ограничении нагрузки в определенном объеме и в определенные часы. Когда на территории вводятся ограничения мощности со стороны оптового рынка, конкретный потребитель розничного рынка получит возмещение, равное объему потребления, умноженному на тариф с повышенным коэффициентом. Но в существующих условиях невозможно оперативно установить на оптовом рынке, было ли реально введено ограничение именно для этого потребителя. Поэтому концепция ДОН так и осталась нереализованной.

В зарубежной практике для решения проблемы покрытия нагрузки в пиковые часы функционирует система мероприятий, получившая название DSM (от demand side management) или управление потреблением на стороне спроса. Это изменение потребительского спроса на электроэнергию с помощью различных финансовых методов.

Традиционно управление потреблением (DSM) включает мероприятия, направленные:

на повышение энергоэффективности (energy efficiency). Под этим понимается общее снижение уровня потребления;

управление спросом (demand response, или load management). Это выравнивание графика нагрузки путем уменьшения пиков, смещения нагрузки в области меньшего потребления, стимулирования спроса в провалах графика нагрузки энергосистемы. Эффект может быть достигнут путем непосредственного вмешательства потребителя в режиме реального времени с помощью частотно-чувствительных реле, запускающих автоматические выключатели (управление нагрузкой) в определенные часы специального тарифного расписания. Управление нагрузкой позволяет потребителям уменьшать спрос на электроэнергию в периоды пиковой нагрузки, что, в свою очередь, может снизить затраты за счет исключения покупки дополнительных мощностей, а следовательно, за счет привлечения менее эффективных генерирующих объектов. При этом относительно небольшое снижение потребления может привести к существенному уменьшению цены на электроэнергию.

Эффект от участия потребителей в управлении спросом представлен на рис. 2, где показаны кривые спроса D1, D2, кривая предложения S, поведение цены C и количества потребления электроэнергии P.

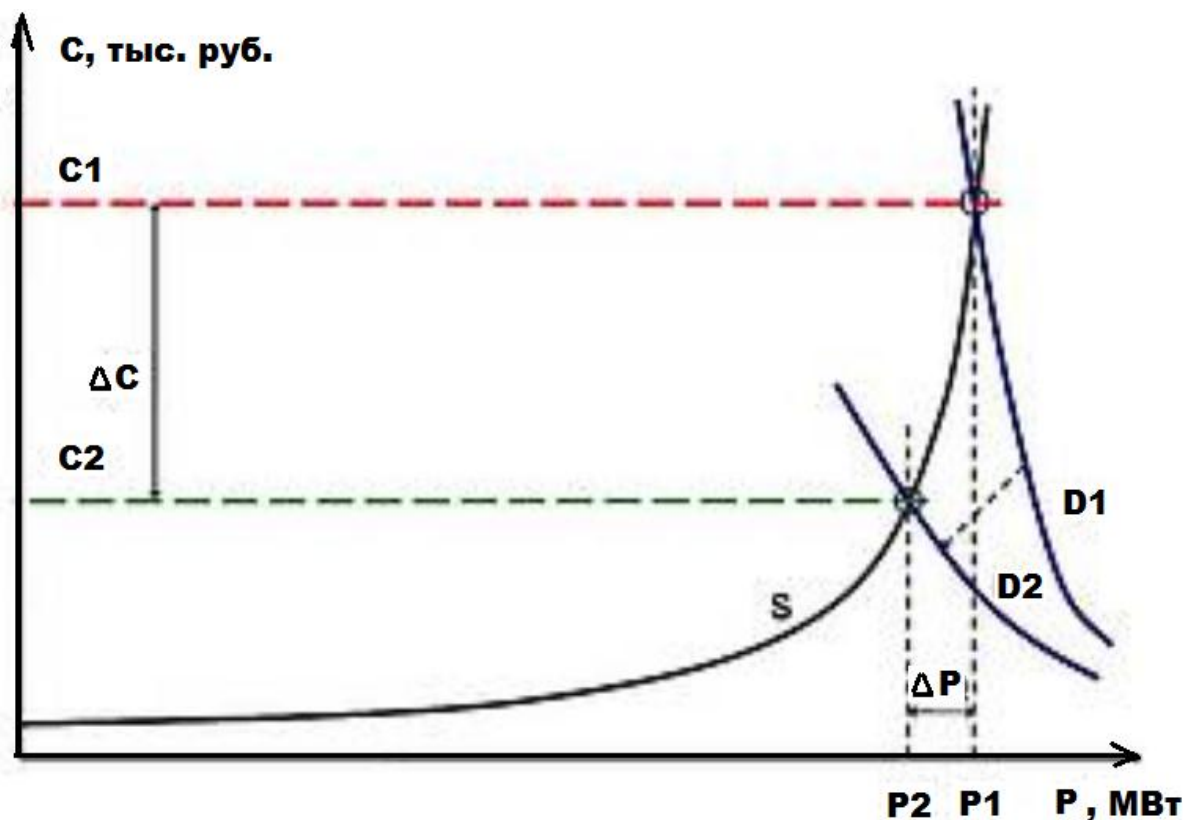


Рис. 2. Эффект от участия потребителей в управлении спросом электропотребления

На графике плавный рост кривой предложения S в определенный момент меняет свой характер на резкий, что соответствует участку с использованием наиболее дорогих источников энергии. Снижение потребления в пиковые часы с величины $P1$ до величины $P2$ (степенная кривая) приводит к превращению кривой спроса $D1$ в кривую $D2$ и уменьшению цены на электроэнергию на величину ΔC .

Снижение потребления электроэнергии может осуществляться за счет применения собственных источников энергоснабжения потребителя (в том числе газопоршневых установок, накопителей энергии и др.), регулирования интенсивности работы двигателей насосно-перекачивающих систем, изменения уставки термостата для систем кондиционирования и/или холодильных установок, изменения или останова производственного цикла, частичное отключение освещения и других действий. Считается, что участие потребителей в технологиях управления спросом позволяет получить индивидуальный экономический эффект в виде получения платы за оказание услуг по снижению/отключению нагрузки благодаря не только им самим, но и всем участникам рынка за счет снижения выработки дорогостоящей электроэнергии низкоэффективными генерирующими мощностями.

Отечественный рынок электроэнергии до внедрения ЦЗСП уже предусматривал вовлечение потребителей в процессы управления энергосистемой. В счетах населения с 1995 года появились дифференцированные по зонам суток тарифы [5], а стоимость энергии для промышленных потребителей различалась в зависимости от часа суток и

режима использования мощностей. Сегодня ценовая разница на постоянной основе стимулирует потребителей снижать потребление в пиковые часы. Зонные (пиковые) тарифы, применимые потребителями, дают возможность экономить при снижении нагрузки в дорогие для энергосистемы часы и также относятся к механизму ЦЗСП.

Мероприятия по управлению спросом актуальны для регионов и рынков с дефицитом генерирующих и сетевых мощностей. Периодически возникает энергетический дефицит на уровне регионов или отдельных энергорайонов. Ограничение нагрузки позволяет избежать нарушений устойчивой работы и аварий в энергосистеме.

20 июля 2016 года было утверждено Постановление Правительства РФ № 699 «О внесении изменений в Правила оптового рынка электрической энергии и мощности» [6], в котором разработаны основные характеристики механизма ЦЗСП:

- введено добровольное участие;
- потребитель продает свои обязательства по разгрузке на конкурентном отборе мощности и получает снижение оплаты мощности независимо от количества разгрузок;
- разгрузки происходят в период высоких цен на рынке электроэнергии;
- в соответствии с выбранной программой потребитель получает график с учетом разгрузки накануне до 19:00;
- количество разгрузок для любой программы ограничено (не более 10 раз в месяц);
- предусмотрены на выбор три программы участия: разгрузка на 8, 4, 2 ч подряд с оплатой мощности по соответствующей цене;
- потребитель несет финансово-экономическую ответственность за неисполнение обязательств по разгрузке в размере 25 % стоимости мощности.

В настоящее время в России ввод новых генерирующих мощностей отстает от роста электропотребления. Кроме того, проблема усугубляется старением существующих генерирующих мощностей. Для решения проблемы повышения надежности и безопасности электроснабжения, сохранения устойчивой работы электро-энергетической системы а также оптимизации стоимости электроэнергии для потребителя могут быть предложены различные решения, которые могут быть реализованы в краткосрочной перспективе без дополнительных инвестиций, например ограничение потребления в пиковые часы, смещение нагрузки в непиковую зону, заключение долгосрочных двусторонних договоров на покупку электроэнергии и мощности.

Существуют возможности для развития системы ЦЗСП.

Для более активного вовлечения потребителей в ЦЗСП необходимо адаптировать правила работы этого механизма для средних и малых потребителей. Следует полностью отменить ограничения по минимальному уровню потребления и величине снижения мощности, существующие на сегодняшний день. Должна быть обеспечена возможность применения ЦЗСП для потребителей с низкой точностью почасового планирования, в том числе с использованием технических средств контроля.

Система оплаты мощности в ЦЗСП сегодня не сбалансирована: большая часть положительного эффекта от снижения цен приходится на долю пассивных потребителей, не участвующих в механизме реализации управления спросом. Решением может стать дополнительное вознаграждение участников ЦЗСП в виде надбавки, учитывающей совокупную оптимизацию затрат в энергосистеме.

В полную силу механизм заработает только при его распространении на розничный рынок. Для этого целесообразно вовлекать в процесс проверенных поставщиков и энергосбытовые компании, которые снабжают энергией население, предприятия коммерческого сектора и небольшие производственные площадки. Энергосбыт может

обеспечить интеграцию потребителей для снижения нагрузки и заинтересовать клиентов прозрачной скидкой к конечной цене [7].

Если механизм ЦЗСП будет отлажен, то появится ряд возможностей для единой энергетической системы России, среди которых:

уменьшение норм резервирования путем снижения использования затратной для системы пиковой генерации;

возможность эффективного использования и развития в России солнечной и ветровой генерации;

возможность внедрения управления сетевыми ограничениями или предаварийным режимами работы сетей, что в конечном счете повышает их системную надежность и гибкость;

распространение ЦЗСП на розничном рынке вызовет повсеместное внедрение интеллектуального учета (smart metering), функции и возможности которого совместимы с требованиями demand response.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии: Постановление Правительства РФ № 442 от 04.05.2012. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_130498/ (дата обращения: 01.11.2019).
2. Обоскалов В.П., Паниковская Т.Ю. Управление электропотреблением в конкурентном рынке электроэнергии. URL: <http://isem.irk.ru/symp2010/papers/RUS/S4-14r.pdf> (дата обращения: 01.11.2019).
3. Маркович И.М. Режимы энергетических систем. М.: Энергия. 1969. 184 с.
4. Аюев Б.И. Методы и модели эффективного управления режимами управления Единой электроэнергетической системы России: дис... докт. техн. наук. Екатеринбург. 2008. 416 с.
5. О государственном регулировании на электрическую и тепловую энергию в Российской Федерации: Федер. закон № 41-ФЗ от 14.04.1995. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_6373/ (дата обращения: 01.11.2019).
6. О внесении изменений в Правила оптового рынка электрической энергии и мощности: Постановление Правительства РФ от 20.07.2016 № 699. «КонсультантПлюс». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_202226/ (дата обращения: 01.11.2019).
7. Посыпанко Н. Особенности национального demand response // *Энергорынок*. 2017. № 6 (151). С. 10–13.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

МАРИНОВА Светлана Васильевна – старший преподаватель кафедры электроснабжения и электротехники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: sv.marinova@yandex.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Маринова С.В. Стратегические возможности механизма ценозависимого снижения потребления // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2020. № 1 (5). С. 63–70.

STRATEGIC CAPABILITIES OF THE DEMAND RESPONSE MECHANISM

S.V. Marinova

Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The article describes demand response mechanism. The main disadvantages and possibilities of using this mechanism in Russia are analyzed.

Keywords: price dependent consumption, demand response, load schedule, electric power price.

REFERENCES

1. On the functioning of retail electric energy markets, full and (or) partial restriction of electric of the regime of electric energy consumption: order of the Government of the Russian Federation of 04.05.2012 No. 442. URL: www.consultant.ru (date of access: 01.11.2019). (In Russian).
2. Oboskalov V.P., Panikovskaya T.Y. Power management in a competitive electricity market. URL: www.isem.irk.ru (date of access: 01.11.2019). (In Russian).
3. Markovich I.M. Rezhimy energeticheskikh sistem [Power system modes]. M.: Energia, 1969. 184 p.
4. Ayuev B.I. Effective management methods and models of the United Energy system of Russia control models: Doct. Diss. (Engineering). Ekaterinburg. 2008. (In Russian).
5. On state regulation of electric and thermal energy in the Russian Federation: the federal law of the Russian Federation of 14.04.1995 No. 41. URL: www.consultant.ru (date of access: 01.11.2019). (In Russian).
6. About modify the rule of wholesale electricity and capacity market: order of the Government of the Russian Federation of 20.07.2016 No 699. URL: www.consultant.ru (date of access: 01.11.2019). (In Russian).
7. Posypanko N. Features of national demand response. *Energorynok*. 2017. Vol. 06 (151), pp. 10–13. (In Russian).

INFORMATION ABOUT AUTHOR

MARINOVA Svetlana Vasilevna – Senior Lecturer of the Department of Power Supply and Electrical Equipment, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: sv.marinova@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Marinova S.V. Strategic capabilities of the demand response mechanism // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2020. No. 1 (5), pp. 63–70.

УДК 517.2/3

О ЦЕНТРАХ СИММЕТРИИ ФУНКЦИИ ТРЕХ ПЕРЕМЕННЫХ**Ал.Ан. Шум¹, А.М. Ветошкин², Ан.Ал. Шум¹**¹*Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*²*Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Мытищи, Московская область)*

Аннотация. В предыдущих статьях авторов рассматривались понятия *c*- и *s*-симметрии для функции трех переменных, определенной в шаре радиуса *R*. Изучается вопрос о переносе этих понятий на случай функции трех переменных, определенной в произвольной области пространства. Для каждого вида симметрии рассматривается понятие центра симметрии.

Ключевые слова: симметрия, *c*-симметрия, *s*-симметрия, центр симметрии, функция трех переменных, функция плотности, тело, деталь, масса, центр масс.

ВВЕДЕНИЕ

Имеются разные технологии механической и физико-технической обработки деталей машин (о разнообразии которых можно судить по названиям [1–13]). Между тем выбор той или иной определенной технологии в каждом конкретном случае может зависеть от характера распределения массы внутри обрабатываемой детали. Распределения массы внутри детали определяет соответствующая функция плотности. Поэтому представляет интерес изучение свойств функции плотности, в том числе и тех, которые обусловлены тем или иным видом симметрии. В работах [14–20] рассматривались плоские детали, называемые пластинами [16], и изучались функции двух переменных. В статьях [21, 22] анализировались функции трех переменных, однако соответствующие объемные детали могли иметь только форму шара. В этой статье продолжены исследования случая функции трех переменных и допущен в качестве области ее определения не только шар, но и произвольная область пространства. Таким образом, данная статья посвящена вопросам симметрии объемных деталей произвольной формы. В [16] рассматривались понятия центра *c*-симметрии и центра *s*-симметрии произвольной плоской пластины. Эти понятия рассматриваются для объемного тела произвольной формы, устанавливается, что (подобно случаю с пластинами) центр *s*-симметрии тела может не существовать, в то время как центр *c*-симметрии всегда существует (он совпадает с центром масс тела).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБОСНОВАНИЯ

Рассматриваем трехмерное евклидово пространство с заданной прямоугольной декартовой системой координат. Под *областью* понимаем замкнутую область этого пространства, ограниченную некоторой поверхностью (которая также считается частью области). Область V_1 называем *подобластью* области V , если $V_1 \subseteq V$, область V вместе с определенной в этой области непрерывной неотрицательной функцией трех переменных $f(x, y, z)$ – *телом* D (при этом функцию $f(x, y, z)$ называем *плотностью* тела D). Подобласть области V вместе с соответствующим ограничением функции $f(x, y, z)$ называем *подтелом* тела D , *массой* тела D – $m(D) = \iiint_V f(x, y, z) dx dy dz$. Функция $f(x, y, z)$

в некоторых точках области V может быть равной нулю, но для любого тела D

предполагается выполненным обязательное дополнительное условие: масса самого тела D , а также масса всякого его подтела должны быть больше нуля.

Точку (x_c, y_c, z_c) с координатами, вычисленными по формулам

$$\begin{cases} x_c = \frac{1}{m(D)} \iiint_V x \cdot f(x, y, z) dx dy dz \\ y_c = \frac{1}{m(D)} \iiint_V y \cdot f(x, y, z) dx dy dz \\ z_c = \frac{1}{m(D)} \iiint_V z \cdot f(x, y, z) dx dy dz \end{cases}$$

в соответствии с общепринятыми определениями [23, 24] называем *центром масс* тела D , центр масс тела D – *центром s -симметрии* функции $f(x, y, z)$ в области V (это соответствует определениям из [21]: s -симметрия функции $f(x, y, z)$ в шаре означает, что ее центр s -симметрии находится в центре шара).

Частью области V называем одну или несколько ее подобластей, *частью тела D* – одно или несколько его подтел. Если часть G тела D состоит из нескольких подтел, то ее массу $m(G)$ считаем равной сумме масс этих подтел.

Точку пространства называем *центром полумасс* тела D , если любая плоскость, проведенная через эту точку, делит тело D на две части одинаковой массы. Центр полумасс тела D называем также *центром s -симметрии* функции $f(x, y, z)$ в области V (это соответствует определениям из [21]: s -симметрия функции $f(x, y, z)$ в шаре означает, что ее центр s -симметрии находится в центре шара).

Плоскость называем *плоскостью равновесия* тела D , если она делит область V тела D на две части V_1 и V_2 так, что

$$\iiint_{V_1} r(x, y, z) f(x, y, z) dx dy dz = \iiint_{V_2} r(x, y, z) f(x, y, z) dx dy dz ,$$

где $r(x, y, z)$ – расстояние от точки (x, y, z) до данной плоскости.

Плоскость называем *плоскостью полумасс* тела D , если она делит это тело на две части одинаковой массы.

Лемма 1. *Существует единственная плоскость равновесия тела D , параллельная данной плоскости.*

Доказательство. Пусть плоскость Π , проведенная параллельно некоторой изначально заданной плоскости, делит область V на две части V_1 и V_2 . Будем перемещать плоскость Π , оставляя параллельной самой себе, в перпендикулярном ей направлении так, что область V_1 будет увеличиваться, а область V_2 – уменьшаться. При этом разность интегралов $\iiint_{V_1} r(x, y, z) f(x, y, z) dx dy dz - \iiint_{V_2} r(x, y, z) f(x, y, z) dx dy dz$ будет строго

возрастать, так как первый из этих интегралов будет возрастать (поскольку будет увеличиваться часть V_1), а второй – уменьшаться (поскольку будет уменьшаться часть V_2). Очевидно, что при одном крайнем положении (когда часть V_1 очень мала) значение этой

разности будет меньше нуля, а при другом (когда часть V_2 очень мала) – больше нуля. Из соображений непрерывности можно заключить, что найдется единственное промежуточное положение плоскости Π , а именно такое, когда рассматриваемая разность будет равна нулю. Это положение плоскости Π и определит единственную плоскость равновесия, параллельную изначально заданной плоскости.

Лемма 2. Существует единственная плоскость полумасс тела D , параллельная данной плоскости.

Доказательство этой леммы может быть реализовано так же, как и доказательство предыдущей, только при этом следует рассматривать разность двух других интегралов:

$$\iiint_{V_1} f(x, y, z) dx dy dz - \iiint_{V_2} f(x, y, z) dx dy dz .$$

Говорим, что *плоскости пересекаются в одной точке*, если имеется точка, принадлежащая всем этим плоскостям (и притом такая точка единственна).

Теорема 1. Все плоскости равновесия тела D пересекаются в одной точке, и эта точка является центром масс тела D .

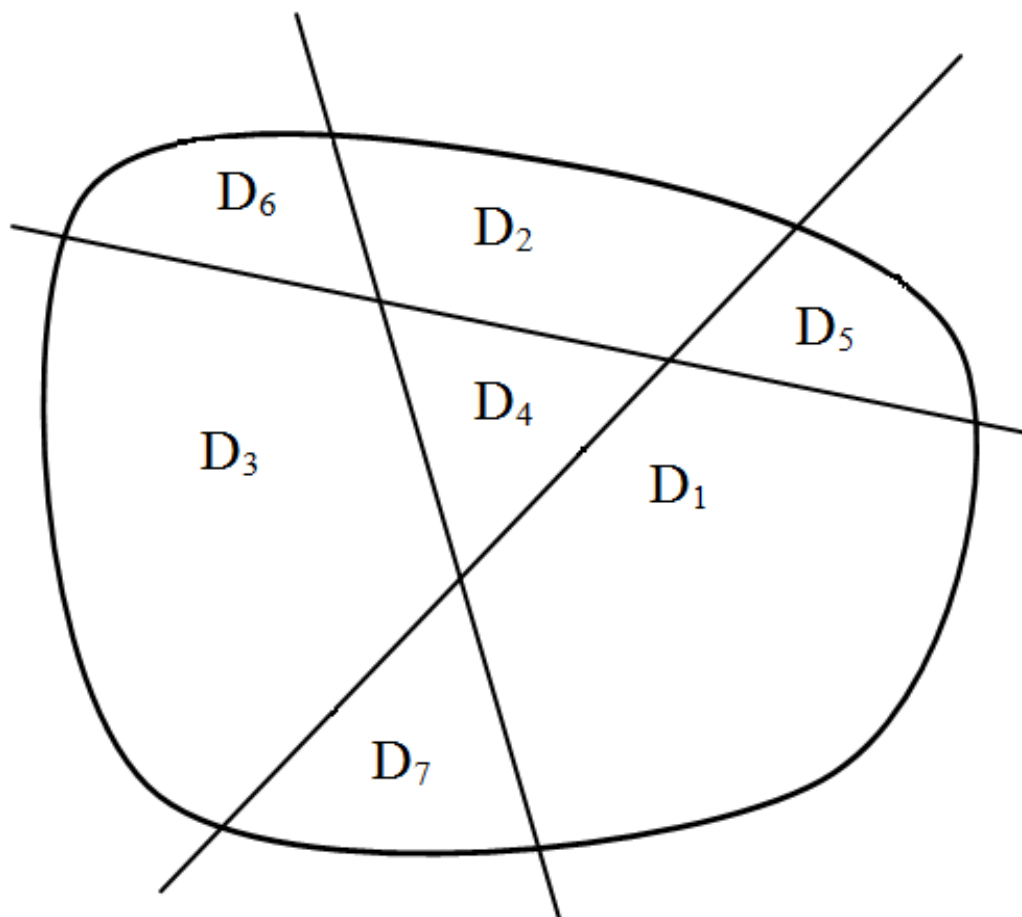
Доказательство. Из определения и свойств центра масс следует, что всякая плоскость, через него проведенная, будет являться плоскостью равновесия. Применив теперь лемму 1, получаем утверждение теоремы.

Теорема 2. Если все плоскости полумасс тела D пересекаются в одной точке, то эта точка является центром полумасс тела D .

Теорема 2 представляет собой очевидное следствие определений. Между тем в случае, когда плоскости полумасс не пересекутся в одной точке, в силу леммы 2 не будет существовать ни одной их общей точки. Тогда не будет существовать и центр полумасс, так как этот центр должен лежать на каждой плоскости полумасс. Соответствующий пример может быть построен следующим образом (схема предлагаемого построения повторяет аналогичную схему построения подобного примера из работы [16]). Представим себе некоторое овальное тело D , проекция которого на плоскость Π показана на рисунке. На этом рисунке показаны также три прямые, представляющие собой проекции трех плоскостей, проведенных перпендикулярно к плоскости Π . Эти три плоскости очевидным образом делят рассматриваемое тело на семь частей: D_1 – D_7 . Определим плотность так, что

$$m(D_1) = m(D_2) = m(D_3) = m(D_4) = 0,1m(D), \text{ а } m(D_5) = m(D_6) = m(D_7) = 0,2m(D).$$

Тогда сумма масс этих семи подтел будет равна (как это и должно быть) массе всего тела D и вместе с тем по каждую сторону от любой из трех плоскостей будет расположена часть тела D массой $0,5m(D)$. Это значит, что каждая из этих трех плоскостей будет представлять собой плоскость полумасс. Но поскольку эти плоскости полумасс не имеют ни одной общей точки, то центра полумасс данного тела не существует.



Три плоскости полумасс

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Центр s -симметрии функции $f(x, y, z)$ в области V (центр масс тела D) всегда существует и единственен, в то время как центр s -симметрии функции $f(x, y, z)$ в области V (центр полумасс тела D) может и не существовать (но если существует, то он также единственен). Как показывают примеры из [21], а именно леммы 1 и 2, возможны случаи, когда оба центра симметрии существуют, но не совпадают. Легко представить себе случай, когда центр масс тела D (центр s -симметрии функции $f(x, y, z)$) лежит вне этого тела (так может получиться, если тело имеет форму подковы). Центр полумасс тела D (центр s -симметрии функции $f(x, y, z)$) также может находиться вне тела D (соответствующий пример может быть построен по схеме, аналогичной той, которая использована в [16] для построения соответствующего примера пластины).

Отдельно следует отметить, что принятое в данной статье ограничение на функцию плотности $f(x, y, z) \geq 0$, которого не было в [21], крайне важно для представленных доказательств лемм. Причем для доказательства леммы 2 существенным является также дополнительное требование положительности массы тела и всех его подтел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артамонов Б.А., Волков Ю.С., Дрожжалова В.И., Седыхин Ф.В., Смоленцев В.П., Ямпольский В.М. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. М.: Высшая школа. 1983. 208 с.
2. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение, 1993. 336 с.
3. Вороничев Н.М., Тартаковский Ж.Э., Генин В.Б. Автоматические линии из агрегатных станков. М.: Машиностроение. 1979. 487 с.
4. Дальский А.М., Гаврилюк В.С. Механическая обработка материалов. М.: Машиностроение. 1981. 266 с.
5. Немилов Е.Ф. Электроэрозионная обработка материалов. Л.: Машиностроение. 1983. 160 с.
6. Подураев В.Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания. М.: Машиностроение. 1977. 303 с.
7. Силин С.С. Метод подобия при резании материалов. М.: Машиностроение. 1979. 152 с.
8. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. М.: Машиностроение. 1989. 297 с.
9. Трент Е.М. Резание металлов. М.: Машиностроение. 1980. 263 с.
10. Кравец А.Т. Участки для электроэрозионной обработки рабочих деталей вырубных штампов и прессформ. М.: ОНТИ ЭНИМС. 1983. 47 с.
11. Этин А.О. Кинематический анализ и выбор эффективных методов обработки лезвийным инструментом. М.: Машгиз. 1953. 173 с.
12. Янюшкин А.С., Шоркин В.С. Контактные процессы при электроалмазном шлифовании. М.: Машиностроение. 2004. 230 с.
13. Ящерицын П.И., Фельдштейн Е.Э., Корниевич М.А. Теория резания. Минск: Новое знание. 2006. 512 с.
14. Шум Ал.Ан. О симметрии функций, определенных в круге // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2014. Вып. 25. С. 3–8.
15. Шум Ал.Ан. Замечание об s-симметричных функциях // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2015. Вып. 27. С. 3–6.
16. Шум Ал.Ан. О центрах симметрии функции двух переменных // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2016. Вып. 30. С. 19–23.
17. Шум Ал.Ан. О центрах симметрии функции, определенной в выпуклой области плоскости // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2017. Вып. 31. С. 19–22.
18. Шум Ал.Ан. Симметрическая линия функции двух переменных // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2017. Вып. 32. С. 103–105.
19. Шум Ал.Ан., Ветошкин А.М., Шум Ал.Ан. Симметрическая линия правильного однородного треугольника // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2018. Вып. 34. С. 47–53.

20. Шум Ал.Ан., Ветошкин А.М., Шум Ан.Ал. Параметрические уравнения симметрической линии правильного однородного треугольника // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2018. Вып. 34. С. 44–47.
21. Шум Ал.Ан., Ветошкин А.М., Шум Ан.Ал. Замечание о симметрии функций, определенных в шаре // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2019. № 3 (3). С. 38–46.
22. Шум Ал.Ан., Ветошкин А.М., Шум Ан.Ал. Об одном критерии s-симметрии функции трех переменных // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2019. № 4 (4). С. 30–36.
23. Письменный Д.Т. Конспект лекций по высшей математике (полный курс). М.: АЙРИС ПРЕСС. 2007. 604 с.
24. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. М.: Физматлит. 2001. Т. 3. 662 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ШУМ Александр Анатольевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: shum@tstu.tver.ru

ВЕТОШКИН Александр Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики, информатики и вычислительной техники, Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1.

ШУМ Анатолий Александрович – студент факультета информационных технологий, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: vetkin@mgul.ac.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Шум Ал.Ан., Ветошкин А.М., Шум Ан.Ал. О центрах симметрии функции трех переменных // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2019. № 4 (4). С. 71–78.

ABOUT THE CENTERS OF SYMMETRY OF A FUNCTION OF THREE VARIABLES

Al.An. Shum¹, A.M. Vetoshkin², An.Al. Shum¹

¹*Tver State Technical University (Tver)*

²*Mytishchi filial of MSTU named after N. Uh. Bauman (Mytishchi, Moscow region)*

Abstract. In previous works, the authors considered the concepts of c- and s-symmetry for a function of three variables defined in a ball of radius R. The question of transferring these concepts of symmetry to the case of a function of three variables defined in an arbitrary region of space is being studied. For each type of symmetry, the concept of the center of symmetry is considered.

Keywords: symmetry, c-symmetry, s-symmetry, center of symmetry, three-variable function, density function, body, detail, mass, center of mass.

REFERENCES

1. Artamonov B.A., Volkov Y.S., Drozhzhlova V.I., Sedykhin F.V., Smolentsev V.P., Yampolsky V.M. *Elektrofizicheskie i elektrokhimicheskie metody obrabotki materialov* [Electrophysical and electrochemical methods of processing materials]. M.: Vysshaja shkola, 1983. 208 p.
2. Vereschaka A.S. *Rabotosposobnost' rezhushchego instrumenta s iznosostojkimi pokrytiyami* [The performance of the cutting tool with wear-resistant coatings]. M.: Mashinostroenie, 1993. 336 p.
3. Voronichev N.M., Tartakovsky J.E., Genin V.B. *Avtomaticheskie linii iz agregatnyh stankov* [Automatic lines of modular machines]. M.: Mashinostroenie, 1979. 487 p.
4. Dalskiy A.M., Gavriluk, V.S. *Mekhanicheskaya obrabotka materialov* [Mechanical treatment of materials]. M.: Mechanical Engineering, 1981. 266 p.
5. Nemilov E.F. *Elektroerozionnaya obrabotka materialov* [Electroerosion treatment of materials]. L.: Mashinostroenie, 1983. 160 p.
6. Poduraev V.N. *Avtomaticheski reguliruyemye i kombinirovannye processy rezaniya* [Automatically adjustable and combined cutting processes]. M.: Mashinostroenie. 1977. 303 p.
7. Silin S.S. *Metod podobiya pri rezanii materialov* [Method of similarity when cutting materials]. M.: Mashinostroenie, 1979. 152 p.
8. Starkov V.K. *Obrabotka rezaniem. Upravlenie stabil'nost'yu i kachestvom v avtomatizirovannom proizvodstve* [Cutting processing. Stability and quality management in automated production]. M.: Mashinostroenie, 1989. 297 p.
9. Trent E.M. *Rezanie metallov* [Metal cutting]. M.: Mashinostroenie, 1980. 263 p.
10. *Uchastki dlya elektroerozionnoj obrabotki rabochnih detalej vyrubnyh shtampov i pressform* [Areas for electrical discharge machining of working parts of cutting dies and molds]. M.: ONTI ENIMS, 1983. 47 p.
11. Etin A.O. *Kinematicheskij analiz i vybor effektivnyh metodov obrabotki lezviynym instrumentom* [Kinematic analysis and selection of effective methods of processing with a climbing tool]. M.: Mashgiz, 1953. 173 p.
12. Yanushkin A.S., Shorkin V.S. *Kontaktnye processy pri elektroalmaznom shlifovanii* [Contact processes in electro-diamond grinding]. M.: Mashinostroenie, 2004. 230 p.
13. Yastcheritsyn P.I., Feldshtein E.E., Korniewicz M.A. *Teoriya rezaniya* [Theory of cutting]. Mn.: Novoe znanie, 2006. 512 p.
14. Shum Al.An. On the symmetry of the functions defined in the circle. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*. 2014. Vol. 25, pp. 3–8. (In Russian).
15. Shum Al.An. The comment about s-symmetric functions. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*. 2015. Vol. 27, pp. 3–6. (In Russian).
16. Shum Al.An. About the centers of symmetry of a function of two variables. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*. 2016. Vol. 30, pp. 19–23. (In Russian).
17. Shum Al.An. About the centers of symmetry of a function defined in a convex domain of the plane. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*. 2017. Vol. 31, pp. 19–22. (In Russian).
18. Shum Al.An. Symmetric line of a function of two variables. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*. 2017. Vol. 32, pp.103–105. (In Russian).
19. Shum Al.An., Vetoshkin A.M., Shum An.Al. The symmetric line of a regular homogeneous triangle. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*. 2018. Vol. 34, pp. 47–53. (In Russian).

20. Shum Al.An., Vetoshkin A.M., Shum An.Al. Parametric equations of the symmetric line of a regular homogeneous triangle. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*. 2018. Vol. 34, pp. 44 – 47. (In Russian).
21. Shum Al.An., Vetoshkin A.M., Shum An.Al. A note on the symmetry of functions defined in a ball. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*. 2019. Vol. 3, pp. 38–46. (In Russian).
22. Shum Al.An., Vetoshkin A.M., Shum An.Al. On one criterion of s-symmetry of a function of three variables. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*. 2019. Vol. 4, pp. XXX. (In Russian).
23. Pismennyi D.T. Konspekt lekciy po vysshej matematike (polnyj kurs) [Lecture notes on higher mathematics (full course)]. M: AIRIS PRESS. 2007. 604 p.
24. Fichtenholz G.M. Kurs differencial'nogo i integral'nogo ischisleniya [Course of differential and integral calculus]. M.: FIZMATLIT. 2001. Vol. 3. 662 p.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

SHUM Alexander Anatolievich – Associate Professor of the Department of Mathematics, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: shum@tstu.tver.ru

VETOSHKIN Alexander Mikhailovich – Associate Professor of the Department of Applied Mathematics, Informatics and Computer Engineering, Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, 1, 1st Institutskaya st., Mytishchi city, Moscow region, 141005, Russia.

SHUM Anatoliy Alexandrovich – student of the Faculty of Information Technologies, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vetkin@mgul.ac.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Shum Al.An., Vetoshkin A.M., Shum An.Al. About the centers of symmetry of a function of three variables // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2019. No. 4 (4), pp. 71–78.

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ



УДК 666.97

МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ КАРБОНАТНЫЙ БЕТОН С ПОВЫШЕННОЙ ВЯЗКОСТЬЮ РАЗРУШЕНИЯ

П.В. Куляев¹, Е.А. Дыгас¹, К.А. Кондратьев¹, Е.С. Ларионова²

¹*Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*

²*АО «ТКСМ № 2» (г. Тверь)*

Аннотация. Статья посвящена изучению составов мелкозернистого бетона для использования в строительстве и при реконструкции зданий и сооружений, определению и сравнению характеристик трещиностойкости для различных составов бетонов.

Ключевые слова: строительство, мелкозернистый карбонатный бетон, состав, трещиностойкость.

ВВЕДЕНИЕ

Современный мир, который невозможно представить без достижений научно-технического прогресса, диктует свои условия в строительстве. В каждом уголке земного шара возводятся здания и сооружения, которые отличаются повышенной этажностью, архитектурной выразительностью, большой нагруженностью, огнестойкостью, сейсмостойкостью и другими параметрами. Для того чтобы стало возможным реализовать поставленные задачи при строительстве этих объектов, возникает потребность в разработке новых составов бетона, которые могли бы соответствовать заданным характеристикам. Новый состав бетона должен отличаться высокой прочностью, трещиностойкостью и долговечностью. Чтобы бетон обладал этими свойствами, при его изготовлении потребуются повышенный расход цемента и использование в качестве заполнителя карбонатных пород. Применение карбонатного бетона является перспективным не только при возведении новых объектов, но и при реконструкции зданий и сооружений.

В настоящее время из-за повышенных экономических и экологических показателей все более распространены мелкозернистые карбонатные бетоны (МЗКБ), получаемые на основе отходов дробления карбонатных пород при производстве щебня. Они широко используются в малоэтажном, монолитном и других видах строительства. Однако МЗКБ характеризуются повышенным расходом цемента. Решение этой проблемы заключается в применении отсевов дробления известняка, подвергнутых помолу, и суперпластификатора СП-1, совместное действие которых способствует снижению расхода цемента при сохранении технологических и эксплуатационных свойств МЗКБ [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проблеме разработки составов бетонов с карбонатными заполнителями и наполнителями посвящены работы многих исследователей. Разработаны составы композитов на основе цементов низкой водопотребности с высокими физико-механическими характеристиками, включающие карбонатный тонкодисперсный

наполнитель. Известняковый порошок считается одним из лучших модификаторов, является химически и электрически условно нейтральным (в сравнении с кремнистыми соединениями) в перераспределении поверхностного потенциала вблизи границ активных центров адсорбции, компенсирует отрицательный эффект от образования вокруг зерен центров адсорбции портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$, вызывающего при твердении развитие капиллярных и гелевых микропор. Правильное дозирование, степень дисперсности и технология введения делают бетоны с включением минеральных известняковых компонентов более прочными и стойкими в агрессивных средах по сравнению с бетонами без добавок. Массовая доля тонкодисперсного кальцита, химически связывающегося в процессе гидратации, колеблется от 3,0 до 4,5 масс.%, а общее содержание известняка в сочетании с другими минеральными добавками не должно превышать 20 масс.% . Основной продукт твердения бетона, имеющего в своем составе тонкодисперсный известняковый порошок, – гидрокарбоалюминаты кальция. Кроме того, чем больше в клинкере содержание трехкальцевого алюмината, тем больше тонкодисперсного карбонатного наполнителя усваивается на химическом уровне. При гидратации портландцемента фазу образования трехкальцевого алюмината контролируют добавлением гипса, где в результате реакции образуется этtringит по схеме



Гипс при этом сдерживает процесс гидратации. Совместно с известняковой пудрой он даже более активен в этом отношении. Но с добавлением гипса усвоение карбонатного наполнителя на химическом уровне несколько замедляется. Показано, что добавление в смесь карбонатного порошка выполняет как структурно-реологическую, так и матрично-наполняющую функцию.

При исследовании использовался ГОСТ [1]. Выявлены достоинства карбонатных композитов: высокая технологичность, связанная с наличием в составе суперпластификатора и функционального наполнителя, нерасслаиваемость, повышенные сроки хранения и ускоренное твердение. Изучались вопросы повышения эксплуатационных свойств цементных бетонов. Было указано, что эксплуатационная надежность – это комплексное понятие, включающее сочетание критериев прочности, надежности и долговечности [2].

Известно, что правильный выбор зернового состава заполнителей для сырьевой смеси, обеспечивающий минимальную пустотность или максимальную плотность упаковки зерен, – это одна из важных задач для получения бетона с улучшенными свойствами [4].

Как известно, высокие показатели прочности бетона достигаются путем регулирования его свойств за счет оптимизации гранулометрического состава заполнителя и снижения его пустотности; применения специальных цементов, в том числе модифицированных помолом; использования пластифицирующих, химических и тонкодисперсных добавок (наполнителей). Поэтому в технологии получения мелкозернистых бетонов особое значение приобретает подбор составов сырьевых композиций, которые должны обеспечивать не только необходимое количество цементирующего вещества, но и эффективное распределение его в объеме композита, оптимальную гранулометрию заполнителя и наполнителя, а также цементных частиц с целью достижения плотной упаковки минеральных зерен. При этих условиях

мелкозернистые бетоны имеют высокую плотность упаковки и, следовательно, большую начальную и конечную прочность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной рассмотренный критерий – это трещиностойкость МКЗБ.

Для определения трещиностойкости экспериментальных образцов применяли методику, изложенную в ГОСТ 29167-91 «Бетоны. Методы определения характеристики трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении».

Установленные по стандарту характеристики трещиностойкости, наряду с другими характеристиками механических свойств, используются:

для сравнения различных вариантов состава, технологических процессов изготовления и контроля качества бетонов;

сопоставления бетонов при обосновании их выбора для конструкций;

расчетов конструкций с учетом их дефектности и условий эксплуатации;

анализа причин разрушений конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 29167-91. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. М.: Издательство стандартов. 2004. 15 с.
2. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат. 1981. 463 с.
3. Черкасов Г.И. Введение в технологию бетона. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство. 1974. 310 с.
4. Берг О.Я., Щербаков Е.Н., Писанко Г.Н. Высокопрочный бетон. М.: Стройиздат, 1971. 207 с.
5. Несветаев Г.В. Бетоны. М.: Феникс, 2013. 381 с.
6. Куляев П.В. Эффективный мелкозернистый карбонатный бетон: дис... канд. техн. наук. Москва, 2017. 120 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

КУЛЯЕВ Павел Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22.

ДЫГАС Евгений Александрович – бакалавр кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: evgenij_work@mail.ru

КОНДРАТЬЕВ Кирилл Андреевич – бакалавр кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: slikshock@yandex.ru

ЛАРИОНОВА Елена Сергеевна – заместитель главного инженера по качеству выпускаемой продукции, ТКСМ № 2, 170019, г. Тверь, ул. Академика Туполева, д. 117.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Куляев П.В., Дыгас Е.А., Кондратьев К.А., Ларионова Е.С. Наномодифицированный мелкозернистый бетон с улучшенными эксплуатационными свойствами // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2020. № 1 (5). С. 79–82.

FINE-GRAINED CARBONATE CONCRETE WITH HIGH FRACTURE TOUGHNESS

P.V. Kulyaev¹, E.A. Dygas², K.A. Kondratyev³, E.S. Larionova⁴

¹*Tver State Technical University (Tver)*

²*Joint Stock Company «TKSM № 2» (Tver)*

Abstract. The article is devoted to the study of fine-grained concrete compositions for use in the construction and reconstruction of buildings and structures, determination and comparison of characteristics of crack resistance for various concrete structures.

Keywords: construction, fine-grained carbonate concrete, composition, crack resistance.

REFERENCES

1. GOST 29167–91. Concrete. Methods of determining characteristics of crack resistance (fracture viscosity) in case of static loading. M.: Standards publishing house, 2004. 15 p. (In Russian).
2. Akhverdov I.N. Osnovy fiziki betona [Foundations of concrete physics]. M.: Stroyizdat, 1981. 463 p.
3. Chernas G.I. Vvedenie v tekhnologiyu betona [Introduction to concrete technology]. Irkutsk: Vostochno-Sibirskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1974. 310 p.
4. Berg O.J., Scherbakov E.N., Pisanko G.N. Vysokoprochnyj beton [High-strength concrete]. M.: Stroyizdat, 1971. 207 p.
5. Nesvetayev G.V. Betony [Concrete]. M.: Phoenix, 2013. 381 p.
6. Kulaev P.V. Effective fine-grained carbonate concrete. Cand. Diss. (Engineering). Moscow. 2017. 120 p. (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

KULYAEV Pavel Viktorovich – Candidate of Technical Sciences, the Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia.

DYGAS Evgeny Alexandrovich – bachelor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: evgenij_work@mail.ru

KONDRATYEV Kirill Andreevich – bachelor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: slikshock@yandex.ru

LARIONOVA Elena Sergeevna – Deputy Chief Engineer for product quality, Tver Combine of Building Materials No. 2, 117, Tver, Academic Tupolev, 170019, Russia.

CITATION FOR AN ARTICLE

Kulyaev P.V., Dygas E.A., Kondratyev K.A., Larionova E.S. Nanomodified fine-grained concrete with improved operational properties // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2020. No. 1 (5), pp. 79–82.

УДК 667.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОПИТКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

А.С. Марущак, В.И. Ольшанский, С.В. Жерносек

Витебский государственный технологический университет

(г. Витебск, Республика Беларусь)

Аннотация. Объектом исследования является процесс пропитки текстильных материалов в ультразвуковом поле. Авторами проведены экспериментальные исследования пропитки текстильных материалов от режимных параметров процесса пропитки в условиях воздействия ультразвука. Результаты работы позволяют прогнозировать изменение физико-механических и физико-химических характеристик аппретирующего состава и обрабатываемого волокнистого материала в процессе заключительной отделки в условиях ультразвуковой обработки, оптимизировать технологические параметры процесса пропитки.

Ключевые слова: пропитка тканей, поверхностное натяжение, вязкость, краевой угол смачивания, эффективность пропитки, объемная скорость пропитки.

ВВЕДЕНИЕ

В операциях заключительной отделки текстильных материалов с использованием аппретов (в особенности, на основе термореактивных смол) существуют определенные трудности, связанные с сушкой и термофиксацией, так как полимерные вещества обычно мигрируют к поверхности материала в процессе конвективной сушки, неравномерно распределяясь по толщине и локализуясь на поверхности волокнистого материала. В результате этого качество отделки материала находится на невысоком уровне [1–7]. Одним из способов повышения качества и интенсификации процессов отделки текстильных материалов является применение ультразвуковых колебаний [2–5, 7].

Преимущество ультразвуковой обработки при отделке, по сравнению с конвективным способом подвода тепла, обусловлено возможностью совмещения операций химической отделки: крашения, аппретирования, сушки. Технологический процесс заключительной отделки включает операцию нанесения аппрета способом импрегнирования с последующей сушкой на материале. Аппретирующая композиция проникает в капилляры и поры материала, затем растворитель удаляется, а полимер остается в его капиллярах и порах. Качество готового материала зависит от эффективности протекания основных физико-химических процессов, происходящих при пропитывании волокнистого материала. К этим процессам относятся смачивание волокнистых материалов жидкими системами на основе полимерных композиций; капиллярные явления, т.е. особенности движения жидкости в капилляре; выделение и закрепление полимера на поверхности волокон путем образования адгезионных контактов [2–5].

Целью является исследование процесса пропитки текстильных материалов полимерным составом под действием ультразвуковых колебаний различной частоты. Эффективность процесса пропитывания тканей может характеризоваться скоростью и полнотой пропитывания. Под скоростью пропитывания обычно понимают скорость продвижения жидкости вглубь волокнистого материала. Указанная скорость зависит как от свойств аппрета, так и от структуры ткани; может быть также охарактеризована

временем, необходимым для поглощения материалом определенного количества жидкости [8].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования процессов жидкостной обработки текстильных материалов в условиях ультразвукового воздействия разработана опытно-экспериментальная установка.

Для реализации технологических процессов под действием ультразвуковых колебаний в аппретирующих составах и красителях необходимы источники ультразвуковых колебаний (ультразвуковые преобразователи). Ультразвуковой преобразователь – это устройство, обеспечивающее преобразование подводимой энергии какого-либо вида в энергию ультразвуковых колебаний [9]. Интенсивность ультразвуковых колебаний в жидкости на частоте 20 кГц, соответствующая порогу кавитации, составляет около $0,3\text{--}1,0 \text{ Вт/см}^2$ [7, 11]. При увеличении частоты колебаний до 40 кГц размеры кавитационных областей пропорционально уменьшаются и интенсивность падает примерно в 2 раза.

Применяемое в промышленности ультразвуковое оборудование имеет общие признаки, связанные с принципами организации функционирования. На рис. 1 представлена структурная схема ультразвукового технологического аппарата, который состоит из сетевого источника питания, транзисторного усилителя (инвертора), задающего генератора ультразвуковой частоты, устройства контроля и управления, устройства согласования, колебательной системы (ультразвукового преобразователя и концентратора), технологической среды [9, 11].



Рис. 1. Схема ультразвукового аппарата

Для создания ультразвуковых колебаний в различных средах применяют пьезоэлектрические преобразователи, которые характеризуются высоким электроакустическим КПД, требуют относительно низких напряжений питания, обеспечивают генерацию упругих колебаний в широком диапазоне частот, способны работать без принудительного охлаждения при высоких температурах (более 100 °С).

Ультразвуковые электронные генераторы предназначены для преобразования тока промышленной частоты в ток высокой частоты и используются для питания электроакустических преобразователей. В настоящее время ультразвуковые генераторы выполняются на полупроводниковых приборах – транзисторах и тиристорах. Применение тиристорных инверторов ограничено из-за низких частотных свойств тиристоров и сложности схемы управления. Наиболее широко в настоящее время используют ультразвуковые генераторы на транзисторах. Поскольку параметры транзисторов непрерывно улучшаются, они являются самыми подходящими приборами для разработки новых ультразвуковых генераторов [1, 11].

Ультразвуковой генератор является сложным электронным прибором, объединяющим в себе силовые модули, измерительные цепи с управляющими микропроцессорными системами.

Процессы аппретирования и крашения происходят в жидкой среде и не требуют стабилизации амплитуды колебаний из-за инерционности и достаточно длительного времени воздействия. Для исследования процессов крашения и промывки тканей в работе применялась лабораторная установка (рис. 2).



Рис. 2. Экспериментальная установка для исследования процессов крашения и промывки тканей

Установка имеет съемную ванну с установленными на ней контактными датчиками температуры (термопары) и быстросъемным штуцером для удаления технологического раствора, каркаса с закрепленной на нем погруженной в технологический раствор

ультразвуковой колебательной системой с пьезоэлектрическими преобразователями, создающими колебания ультразвукового диапазона частот (22–40 кГц), ультразвуковым генератором мощностью до 300 Вт (рис. 3).

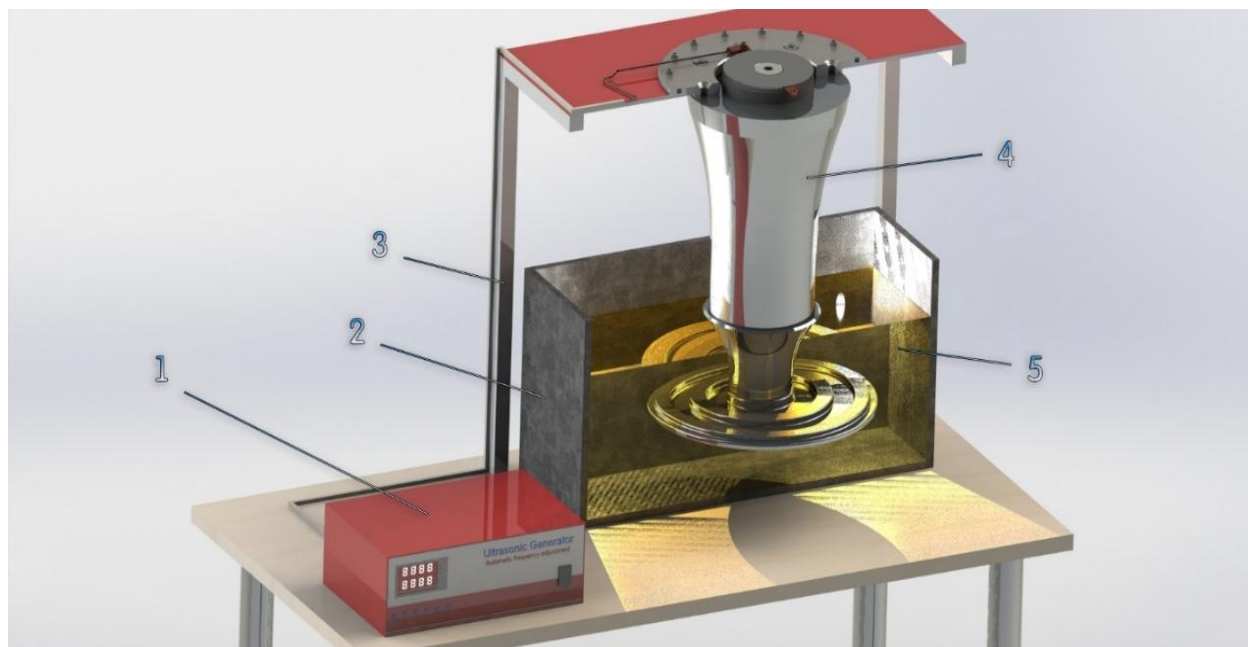


Рис. 3. Экспериментальная установка для исследования процессов крашения и промывки тканей: 1 – ультразвуковой генератор; 2 – ванна; 3 – каркас; 4 – ультразвуковая колебательная система; 5 – раствор

Известно, что при центральном возбуждении плоского тонкого диска распределение колебательных смещений изгибных колебаний вдоль поверхности диска будет иметь вид стоячих волн. Из-за того, что различные точки поверхности диска излучают колебания в противоположенных фазах (на некотором расстоянии от диска на его оси) акустическое излучение отдельных участков диска частично компенсируется. Для того чтобы уменьшить влияние участков диска, излучающих колебания в «отрицательной» фазе, увеличена толщина диска в указанных участках. Поэтому излучатель выполнен в виде ступенчато-переменного по толщине диска (рис. 4) [5]. Из представленного на рис. 4 распределения колебаний видно, что амплитуда колебаний «отрицательных» зон уменьшена по сравнению с амплитудой колебаний «положительных» зон. При этом полной взаимной компенсации ультразвуковых колебаний в воздушной среде не происходит.

Для обеспечения максимальной амплитуды колебаний и возможности работы при максимальных механических напряжениях излучатели выполняют из титановых сплавов (рис. 4). В настоящее время разработаны и используются в практике ультразвуковые аппараты с титановыми излучателями различного диаметра (от 200 до 430 мм). Однако из-за высокой стоимости и низкой технологичности титана при изготовлении акустических систем часто применяют алюминиевые сплавы.

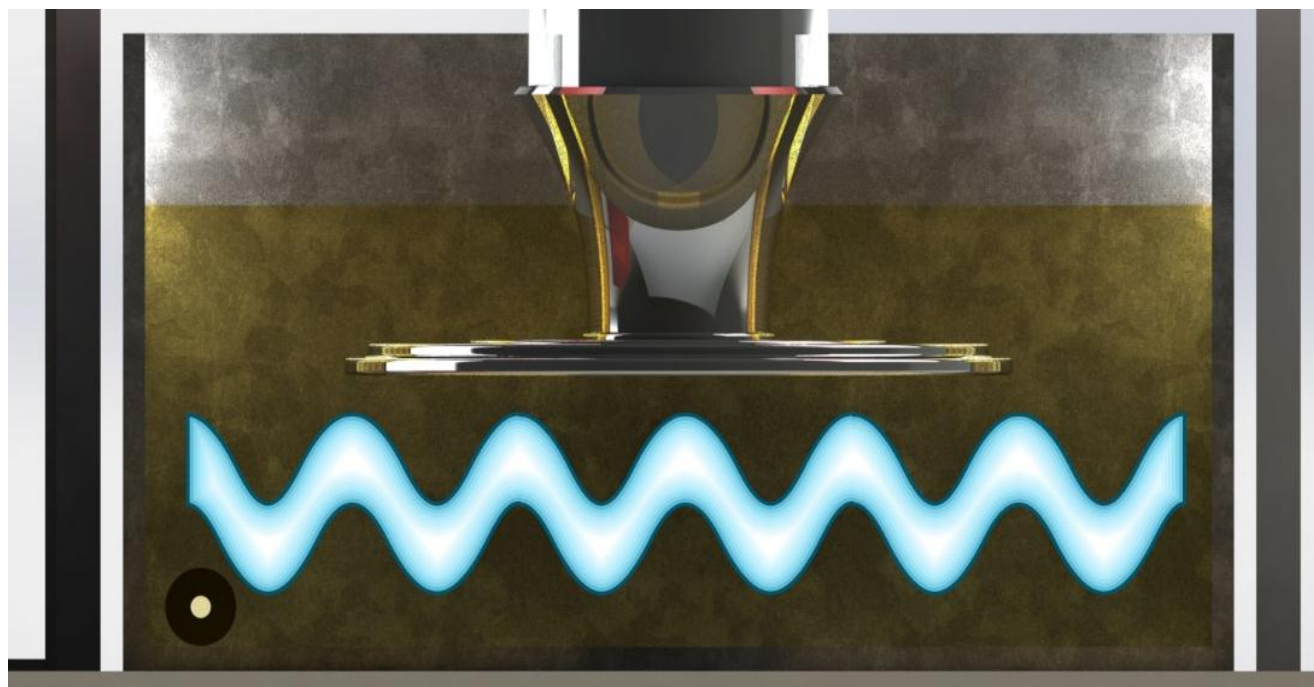


Рис. 4. Диск ступенчато-переменного сечения
с преимущественным излучением одной фазы колебаний

Для проведения эксперимента была выбрана трикотажная полиэфирная ткань, технические характеристики которой представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики исследуемых материалов

Маркировка материала	Вид материала	Поверхностная плотность, г/м ²	Разрывная нагрузка, Н (продольное/поперечное направление)	Термостойкость, °С
ВФ-12	Трикотаж	420±50	1 850/1 200	145

Отбор проб производился по ГОСТ 3813-72 (ИСО 5081-77, ИСО 5082-82) «Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия», климатические параметры лаборатории – по ГОСТ 10681-75 «Материалы текстильные. Климатические условия для кондиционирования и испытания проб и методы их определения». Климатические параметры для умеренной зоны: относительная влажность воздуха – 65±2%; температура воздуха – 20±2°С.

Режимные параметры: частота ультразвука – 22, 40 кГц; мощность ультразвука – 30, 90 Вт.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Графические зависимости высоты капиллярного подъема от времени для трикотажного материала ВФ-12 представлены на рис. 5.

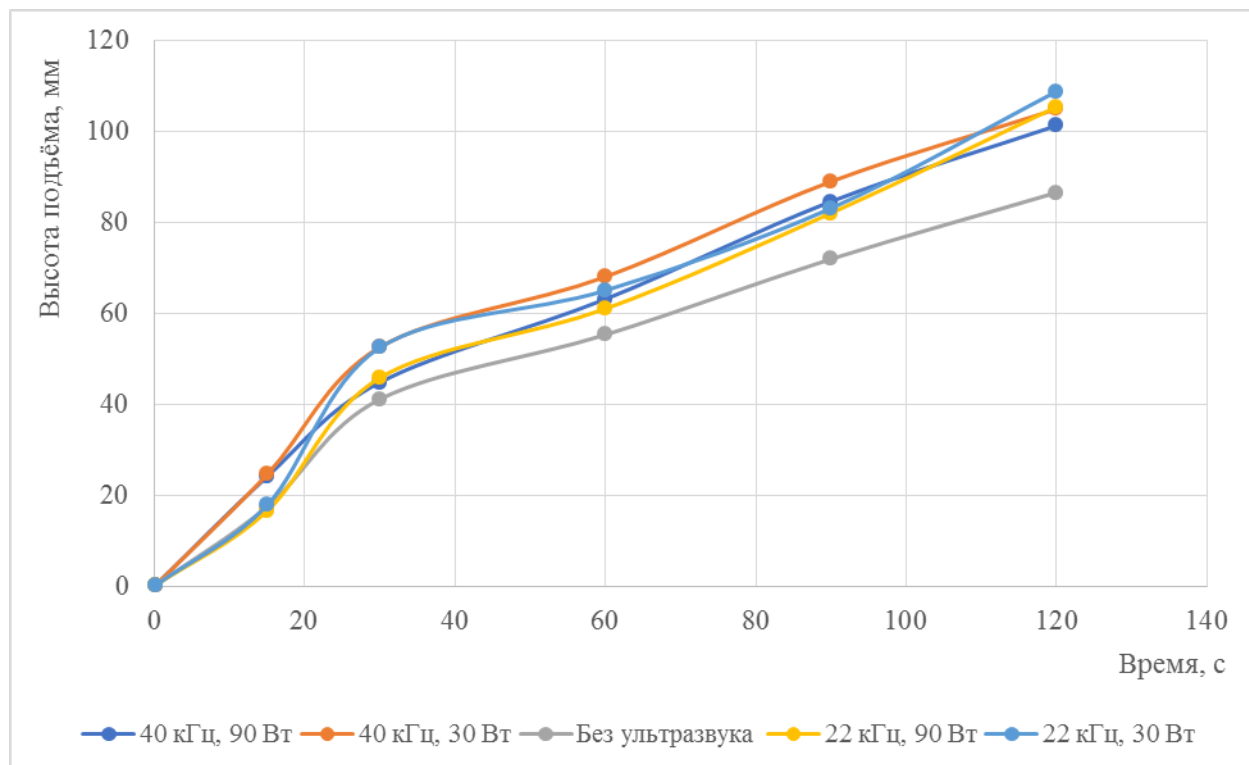


Рис. 5. Зависимость высоты капиллярного подъема от времени для трикотажного материала ВФ-12

Анализ графика показывает, что для исследуемого материала максимальная высота капиллярного подъема достигается при воздействии ультразвука мощностью 30 Вт и частотой 22 кГц. При рассмотренных режимах обработки трикотажного материала с использованием ультразвукового кавитационного воздействия установлено увеличение скорости капиллярного подъема жидкости. Основным параметром, характеризующим эффективность кавитационного воздействия, является индекс кавитации, который определяется как отношение объема кавитационных пузырьков к объему жидкости, в котором локализовано это облако. Подход к установлению индекса кавитации заключается в нахождении радиуса кавитационного пузырька в зависимости от частоты и интенсивности воздействия и определении в зависимости от частоты ультразвукового поля и физических свойств обрабатываемой жидкости. R и R_{MAX} определяются на основании решений уравнений динамики кавитационного пузырька, связывающих скорость движения стенки кавитационного пузырька, текущий радиус пузырька и звуковое давление.

Установленные закономерности имеют практическое применение при определении рациональных режимов жидкостной обработки капиллярно-пористых материалов. При решении задач по установлению рациональных режимов обработки с использованием акустической кавитации необходимо разграничивать два типа активности пузырьков: стабильную кавитацию и коллапсирующую, или нестационарную, кавитацию. Однако четкую границу между ними не всегда удастся провести. Стабильные полости пульсируют под воздействием давления ультразвукового поля. Радиус пузырька колеблется около

равновесного значения, полость существует в течение значительного числа периодов звукового поля. С активностью такой стабильной кавитации может быть связано возникновение акустических микропотоков и высоких сдвиговых напряжений. Коллапсирующие, или нестационарные, полости осциллируют неустойчиво около своих равновесных размеров, вырастают в несколько раз и энергично схлопываются. Схлопыванием таких пузырьков могут быть обусловлены высокие температуры и давления. Малые пузырьки могут расти вследствие процесса, называемого выпрямленной, или направленной, диффузией. Объяснение этого явления состоит в том, что за период акустического поля газ поочередно диффундирует в пузырек во время фазы разрежения и из пузырька во время фазы сжатия [10, 12].

При схлопывании кавитационного пузырька возникает местное повышение давления. Поскольку таких пузырьков образуется до нескольких миллионов в секунду, появляется кавитационная область, в которой действие указанных факторов весьма значительно. Следствием схлопывания кавитационных пузырьков являются ударные волны, которые создают в ближайшей зоне давления, в 100 раз превышающие первичное давление акустического поля [10]. При значительном увеличении интенсивности колебаний и достижении «порогового» значения мощности излучателя могут происходить повреждение микроволокон материала и снижение прочности текстильных материалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения теоретико-экспериментальных исследований установлены закономерности пропитки трикотажных полиэфирных материалов с применением акустических колебаний ультразвукового диапазона. Полученные результаты могут быть использованы для определения рациональных режимов обработки (комбинаций мощности, частоты и продолжительности обработки для водных дисперсий с заданной концентрацией полимеров), обеспечивающих отсутствие разрушений микроволокон, создание благоприятных условий для впитывания в капиллярно-пористую структуру, достижение высокой прочности пропитанных в условиях ультразвукового кавитационного воздействия композиционных материалов и ускорение технологического процесса влажно-тепловой обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ возможностей и выработка предложений для реализации малогабаритной системы акустической сушки для стиральных машин. URL: http://ultrasonic.ru/downloads/issled/Acoustic_Drying_Cloth_1.pdf (дата обращения: 15.05.2018).
2. Бизюк А.Н., Жерносек С.В., Ясинская Н.Н., Ольшанский В.И. Исследование пропитки текстильных материалов в поле СВЧ-излучения // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. 2014. № 26. С. 21–28.
3. Kulnev A., Zhernosek S., Alshanski V., Yasinskaya N. Intensification of the process of dyeing polyester fabrics by dispersive dyes under conditions of acoustic vibrations of ultrasonic range // *Education and Science in the 21st century*. 2017. pp. 64–67.
4. Ясинская Н.Н., Скобова Н.В., Бизюк А.Н. Исследование процесса пропитки при формировании композиционных текстильных материалов. *Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018): сборник материалов Международной научно-технической конференции*. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2018. С. 96–100.

5. Беззубцева М.М., Сапрыкин А.Е., Пилуков И.Г. Интенсификация технологических процессов АПК ультразвуковой кавитацией // *Успехи современного естествознания*. 2014. № 12. С. 180–185.
6. Хмелев В.Н., Хмелев С.С., Цыганок С.Н., Титов Г.А. Ультразвуковая пропитка полимерных композиционных материалов // *Южно-Сибирский научный вестник*. 2012. № 2 (2). С. 193–196.
7. Герасимов М.Н. Пропитка тканей: процесса, технология, оборудование. Иваново: ИГТА, 2002. 176 с.
8. Воюцкий С.С. Физико-химические основы пропитывания и импрегнирования волокнистых систем водными дисперсиями полимеров. М.: Химия. 1969. 336 с.
9. Кононов И.С. Исследование реологических свойств растворов полимеров и полимерных композиций на ротационном вискозиметре «Реотест-2». Бийск: АлтГТУ, 2011. 18 с.
10. Шибашов А.В., Шибашова С.Ю. Изучение влияния низкочастотного ультразвукового поля на пероксидные растворы // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2012. № 2 (338). С. 73–75.
11. Хмелев В.Н., Сливин А.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Шалунов А.В. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности. Бийск: АлтГТУ, 2010. 203 с.
12. Сарсенгалиев А.М. Повышение эффективности ультразвукового удаления оксидного поверхностного слоя с внутренних поверхностей в деталях сложной конструкции сочетанием кавитации и контактного вибровоздействия: дис... канд. техн. наук. Саратов, 2018. 131 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

МАРУЩАК Алексей Сергеевич – аспирант кафедры технологии и оборудования машиностроительного производства, УО «Витебский государственный технологический университет», 210035, Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр., 72. E-mail: alexeyumarushak@mail.ru

ОЛЬШАНСКИЙ Валерий Иосифович – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования машиностроительного производства, УО «Витебский государственный технологический университет», 210035, Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр., 72.

ЖЕРНОСЕК Сергей Васильевич – кандидат технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой технологии и оборудования машиностроительного производства, УО «Витебский государственный технологический университет», 210035, Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр., 72.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Марущак А.С., Ольшанский В.И., Жерносек С.В. Исследование процесса пропитки текстильных материалов в условиях воздействия ультразвуковых колебаний // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2020. № 1 (5). С. 83–92.

RESEARCH OF THE PROCESS OF IMPREGNATION OF TEXTILE MATERIALS UNDER THE CONDITIONS OF EXPOSURE TO ULTRASONIC OSCILLATIONS

A.S. Marushchak, V.I. Olshansky, S.V. Shernosek

Vitebsk State Technological University (Vitebsk, Belarus)

Abstract. The object of research is the process of impregnation of textile materials in an ultrasonic field. The authors conducted experimental studies of the impregnation of textile materials from the operating parameters of the impregnation process under the influence of ultrasound. The results of the work make it possible to predict a change in the physicomechanical and physicochemical characteristics of the sizing composition and the processed fibrous material during the final finishing under ultrasonic treatment, to optimize the technological parameters of the impregnation process.

Keywords: tissue impregnation, surface tension, viscosity, wetting angle, impregnation efficiency, impregnation volumetric rate.

REFERENCES

1. Analysis of opportunities and development of proposals for the implementation of a small-sized system of acoustic drying for washing machines. URL: http://u-sonic.ru/downloads/issled/Acoustic_Drying_Cloth_1.pdf. (date of access: 05.15. 2018). (In Russian).
2. Bizyuk A. N., Zhernosek S. V., Yasinskaya N. N., Olshansky V. I. The study of the impregnation of textile materials in the field of microwave radiation. *Vestnik VGTU*. 2014. No. 26, pp. 21–28. (In Russian).
3. Kulnev A., Zhernosek S., Alshanski V., Yasinskaya N. Intensification of the process of dyeing polyester fabrics by dispersive dyes under conditions of acoustic vibrations of ultrasonic range. *Education and Science in the 21st century*. 2017. pp. 64–67. (In Russian).
4. Yasinskaya N.N., Skobova N.V., Bizyuk A.N. Study of the impregnation process in the formation of composite textile materials. *Design, Technologies and Innovations in the Textile and Light Industry (INNOVATIONS-2018): Papers of International scientific conference*. M.: RGU im. A.N. Kosygina, 2018. pp. 96 –100. (In Russian).
5. Bezzubtseva M.M., Saprykin A.E., Pilyukov I.G. Intensification of technological processes in the agricultural sector with ultrasonic cavitation. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya*. 2014. No. 12, pp. 180–185. (In Russian).
6. Khmelev V.N., Khmelev S.N., Tsyganovk S.N., Titov G.A. Ultrasonic impregnation of polymer composite materials. *Yuzhno-Sibirskij nauchnyj vestnik*. 2012. No. 2 (2), pp. 180–185. (In Russian).
7. Gerasimov M.N. Propitka tkanej: processa, tekhnologiya, oborudovanie [Impregnating fabrics: process, technology, equipment]. Ivanovo: ISTA, 2002. 176 p.
8. Voyutskiy S.S. Fiziko-himicheskie osnovy propityvaniya i impregnirovaniya voloknistykh sistem vodnymi dispersiyami polimerov [Physico-chemical principles of impregnation and impregnation of fibrous systems with aqueous dispersions of polymers]. M.: Himia, 1969. 336 p.
9. Kononov I.S. Research of the rheological properties of polymer solutions and polymer compositions on a Reotest-2 rotational viscometer. Biysk: Publishing house AltGTU, 2011. 18 p.

10. Shibashov A.V., Shibashova S.Y. Study of the influence of the low-frequency ultrasonic field on peroxide solutions. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*. 2012, No. 2 (338), pp. 73-75. (In Russian).
11. Khmelev V.N., Slivin A.N., Barsukov R.V., Tsyganok S.N., Shalunov A.V., Khmelev V.N. Application of high-intensity ultrasound in industry. Biysk: Publishing house Alt. state tech. un-that. 2010. 203 p.
12. Sarsengaliev A. M. Increasing the efficiency of ultrasonic removal of an oxide surface layer from internal surfaces in complex design details by a combination of cavitation and contact vibration exposure. Cand. Diss. (Engineering). Saratov. 2018. 131 p. (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

MARUSHCHAK Aleksey Sergeevich – postgraduate student of the Department of Technology and Equipment of Machine-building Production, Vitebsk State Technological University, 72, Moskovsky avenue, Vitebsk, 210035, Belarus. E-mail: alexeymarushak@mail.ru

OLSHANSKY Valery Iosifovich – Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technology and Equipment of Machine-building Production, Vitebsk State Technological University, 72, Moskovsky avenue, Vitebsk, 210035, Belarus.

ZHERNOSEK Sergey Vasilievich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Assistant Manager, Head of the Department of Technology and Equipment of Machine-building Production, Vitebsk State Technological University, 72, Moskovsky avenue, Vitebsk, 210035, Belarus.

CITATION FOR AN ARTICLE

Marushchak A.S, Olshanskii V.I., Zhernosek S.V. Research of the process of impregnation of textile materials under the conditions of exposure to ultrasonic oscillations // Vestnik of Tver state technical university. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2020. No. 1 (5), pp. 83–92.

УДК 614.8.084

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТЕРМООБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ПЛАЩЕВЫХ ТКАНЕЙ, ОБРАБОТАННЫХ В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ ИНЕРТНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

С.Д. Семейников, Т.С. Копылова, Д.С. Семейников

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

Аннотация. В данной работе проведены исследования качественных показателей плащевых тканей, обработанных в псевдоожигенном слое инертного теплоносителя. Приводятся сравнительные характеристики опытных образцов с образцами, обработанными в «кипящем слое». Особенное внимание уделяется адгезии полимерного покрытия к ткани. У опытных образцов этот показатель оказывается более высоким, чем у производственных.

Ключевые слова: полимерные покрытия, псевдоожиженный слой, вулканизация, адгезия, качественные характеристики.

Производство тканей с полимерными покрытиями, являющееся составной частью промышленности искусственных кож, имеет важное значение для народного хозяйства России.

Один из основных процессов производства резинотехнических изделий, заменителей кож и плащевых тканей – процесс термообработки, требующий больших затрат энергии [1].

До настоящего времени для вулканизации тканей с полимерными покрытиями промышленности широко использовались контактные и конвективные сушилки. Эти агрегаты отличаются низкой производительностью, большими габаритами, значительной металлоемкостью, и, что особенно важно, качеством продукции, обрабатываемое на данных установках, характеризуется низкими показателями.

Данная статья посвящена изучению качества изделий, обработанных в псевдоожиженном слое, с целью выявления оптимальных условий термообработки. Сделана попытка выяснить физико-химическую природу адгезии в зоне контакта «ткань – полимерное покрытие».

Широкое внедрение псевдоожиженного слоя при обработке плащевых тканей обусловлено рядом его преимуществ, к числу которых относятся интенсивное перемешивание твердых частиц и оживающего агента и развитая поверхность контакта фаз, которая позволяет положительно влиять на основной качественный показатель плащевых тканей – адгезию [2].

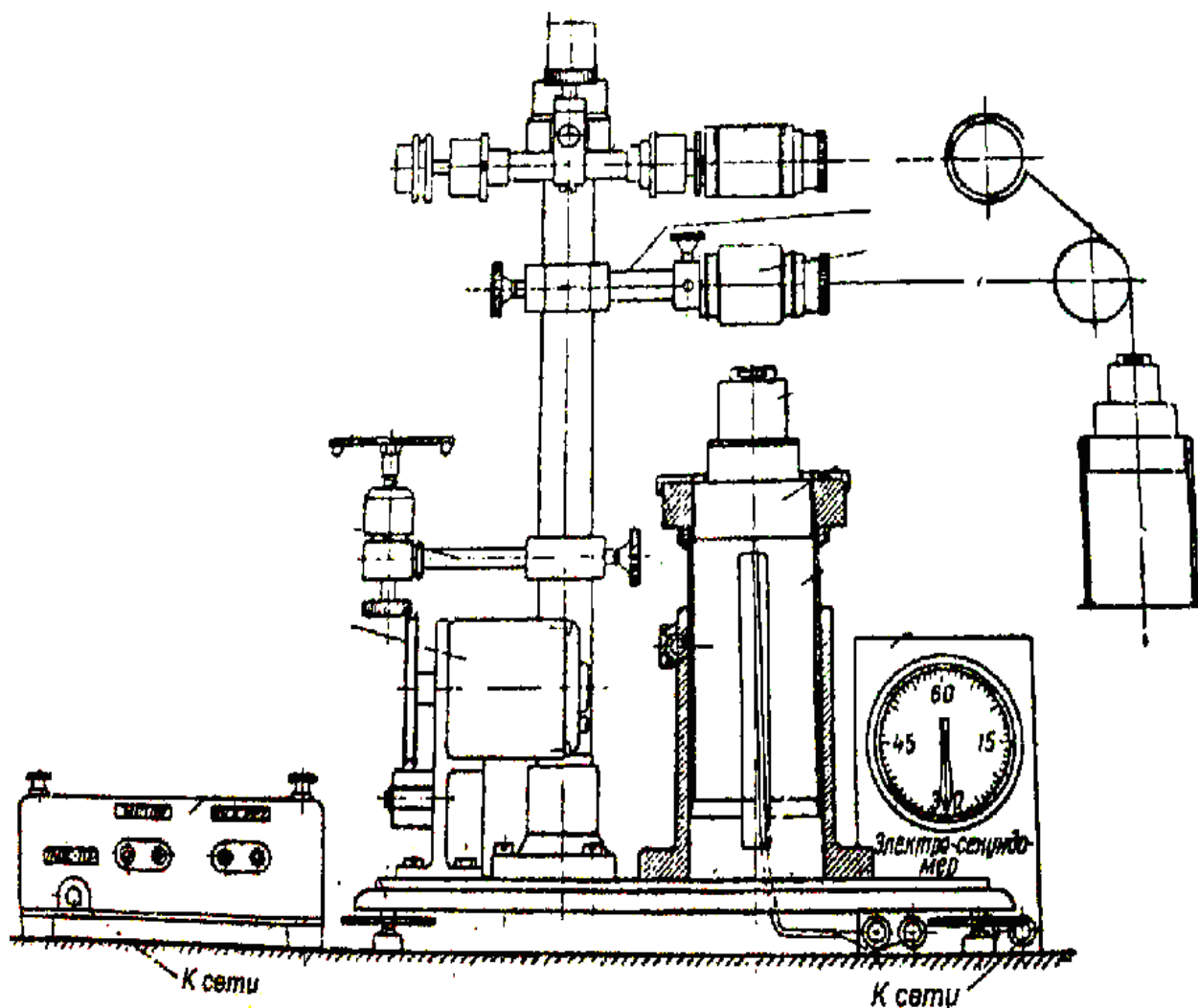
Под адгезией понимают сцепление между двумя приведенными в контакт поверхностями различных по своей природе материалов. Прочность системы «ткань – полимерное покрытие» зависит от прочности самого слабого элемента и самого слабого места склеивания, поэтому необходимо, чтобы клееные соединения были однородными и одинаково прочными [3].

Качественно адгезию можно охарактеризовать сопротивлением клеевого соединения (на отрыв, расслаивание, сдвиг) по месту первоначального контакта. Силу, преодолеваемую при одновременном отрыве по всей площади, называют удельной работой расслаивания (г/см^2).

При изучении адгезионных свойств плащевых тканей был использован роликовый адгезиометр (рисунок), который позволял снимать зависимость степени сцепления ткани с покрытием от способов термообработки.

Исследование с помощью роликового адгезиометра показали значительно более прочную связь полимерного покрытия и ткани в образцах, обработанных в псевдоожиженном слое инертного теплоносителя.

Адгезию можно количественно оценивать «мозаичным способом» (способ применим к пленочным материалам на тканевой основе), т.е. по количеству остающегося на ткани покрытия при расслаивании двух образцов, склеенных между собой латексным клеем по полимерному покрытию. Этот способ также подтвердил более прочную связь «ткань – покрытие» при вулканизации в псевдоожиженном слое.



Роликовый адгезиометр

В целях получения полной сравнительной качественной характеристики опытных и производственных образцов проводились физико-химические исследования всех основных показателей (усадки, намокаемости, сминаемости и равномерности содержания серы в покрытии) плащевых тканей методами стандартного анализа.

Анализы выявили, что намокаемость капроновой ткани с полимерным покрытием, вулканизованной в производственных условиях, колеблется в широких пределах и составляет от 11 до 15 %, в то время как опытные образцы показали гораздо более низкое и стабильное значение этого показателя (от 6,6 до 8 %) (табл. 1).

В ходе исследования усадки опытных и производственных образцов было установлено, что для производственных образцов усадка после намокания лежит в диапазоне 0,6–18 %, а после высыхания – в диапазоне 1,1–1,4 % (табл. 2).

Таблица 1

Намокаемость плащевых тканей в воде

№ п/п	Намокаемость капрона, %, у образцов	
	производственных	опытных
1	10,6	6,6
2	14,3	8
3	11,5	8,1
4	11,2	7
5	14,2	7
6	14,3	7,1
7	14,4	7,3
8	11,3	7,8
9	14,2	7,7
10	12,5	7,5
11	14	7,9
12	11,5	8
13	11,8	8,1
14	13,9	7,8
15	10,8	7,9
16	12,6	8

Таблица 2

Усадка производственных и опытных образцов плащевой ткани, %

№ п/п	Производственные образцы капрона		Опытные образцы капрона после намокания и высыхания
	после высыхания	после намокания	
1	1,2	0,6	0,21
2	1,15	0,8	0,2
3	1,35	0,78	0,22
4	1,2	0,81	0,2
5	1,25	0,62	0,2
6	1,23	0,8	0,21
7	1,4	0,62	0,2
8	1,08	0,81	0,2

Для опытных образцов значение усадки после намокания и высыхания очень незначительно и составляет для ткани капрон 0,2 %. Строгое постоянство этого показателя для опытных образцов говорит о высокой равномерности процесса вулканизации, обеспечиваемой новым методом термообработки [4].

Сминаемость производственных и опытных образцов устанавливалась с помощью прибора типа ТКИ-6-281 ГОСТ 9782-61. Для производственных образцов она составляла в среднем 40 %, для опытных образцов – это стабильная нулевая величина (табл. 3).

Таблица 3

Сминаемость производственных и опытных образцов плащевой ткани, %

№ п/п	Образцы			
	производственные		опытные	
	Капрон	Марокен	Капрон	Марокен
1	36,1	42,1	0,2	30
2	41,5	38,5	0,1	28,1
3	35	43,4	0,5	30,4
4	40,1	31	0,4	30,9
5	38,1	40,1	0	32,4
6	33,4	39,1	0,1	30,1
7	43,1	44,2	0	30,5
8	39	33,2	0,8	30,6
9	45,2	48,3	0,9	31
10	37,5	41,8	0,1	29,8

Очень важным показателем качества плащевых тканей является степень равномерности полноты вулканизации полимерного покрытия, которая оценивается по содержанию свободной серы в покрытии. Количество свободной серы в опытных образцах, согласно результатам анализов, составляет 0,13 %, в производственных колеблется от 0,1 до 0,35 % (табл. 4).

Таблица 4

Равномерность процесса вулканизации плащевой ткани

№ образца	Содержание свободной серы, %, у образцов	
	производственных	опытных
1	0,201	0,135
2	0,31	0,138
3	0,195	0,134
4	0,199	0,13
5	0,178	0,139
6	0,218	0,138
7	0,381	0,129
8	0,391	0,133
9	0,351	0,14
10	0,251	0,13

Таким образом, при термообработке в псевдоожиженном слое подтвердилось улучшение всех основных качественных показателей тканей с полимерными покрытиями, что позволяет рекомендовать этот метод для широкого промышленного использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов М.В. Энергосберегающая технология и оборудование для производства длинномерных резинотехнических изделий // *Химическая технология*. 2008. № 10. С. 496–499.
2. Козлов А.И. Повышение качества ускорителей вулканизации резин // *Химическая промышленность*. 2005. № 5. С. 233–234.
3. Крыжановский В.К., Бурлов В.В., Паниматченко А.Д. Технические свойства полимерных материалов. СПб.: Профессия. 2003. 239 с.
4. Комисаров Ю.А., Гордеев Л.С., Вент Д.П. Процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия. 2011. 350 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

СЕМЕЕНКОВ Сергей Дмитриевич – кандидат технических наук, профессор кафедры технологических машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: mr.semeenkov@mail.ru

КОПЫЛОВА Тамара Семеновна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологических машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: tamara.kopylova.41@mail.ru

СЕМЕЕНКОВ Дмитрий Сергеевич – магистрант, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: mr.semeenkov@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Семеенков С.Д., Копылова Т.С., Семеенков Д.С. Влияние условий термообработки на качество плащевых тканей, обработанных в псевдооживленном слое инертного теплоносителя // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2020. № 1 (5). С. 92–98.

INFLUENCE OF HEAT TREATMENT CONDITIONS ON THE QUALITY OF RAINCOAT FABRICS TREATED IN A FLUIDIZED BED OF AN INERT COOLANT

S.D. Semeenkov, T.S. Kopylova, D.S. Semeenkov
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. In this paper, the study of qualitative indicators of cloak fabrics treated in a fluidized bed of inert coolant. Comparative characteristics of prototypes with samples processed in the fluidized bed are given. Special attention is paid to the adhesion of the polymer coating to the fabric. In prototypes, this figure is higher than in production.

Keywords: polymer coatings, fluidized bed, vulcanization, adhesion, qualitative characteristic.

REFERENCES

1. Sokolov M.V. Energy-saving technology and equipment for the production of long-length rubber products. *Himicheskaya tekhnologiya*. 2008. No.10, pp. 496–499. (In Russian).
2. Kozlov A.I. Improving the quality of rubber vulcanization accelerators. *Himicheskaya promyshlennost'*. 2005. No. 5, pp. 233–234. (In Russian).
3. Kryzhanovskij V.K., Burlov V.V., Panimatchenko A.D. *Tekhnicheskie svojstva polimernyh materialov* [Technical properties of polymer materials]. SPb.: Professiya, 2003. 239 p.
4. Komissarov Y.A., Gordeev L.S., Vent D.P. *Processy i apparaty himicheskoy tekhnologii* [Processes and devices of chemical technology]. M.: Himiya, 2011. 350 p.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

SEMEENKOV Sergey Dmitrievich – Professor of Technological Machines and Equipment Department, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: mr.semeenkov@mail.ru

KOPYLOVA Tamara Semenovna – Associate Professor of Technological Machines and Equipment Department, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: tamara.kopylova.41@mail.ru

SEMEENKOV Dmitry Sergeevich – undergraduate, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: mr.semeenkov@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Semeenkov S.D., Kopylova T.S., Semeenkov D.S. Influence of heat treatment conditions on the quality of raincoat fabrics treated in a fluidized bed of an inert coolant // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2020. No. 1 (5), pp. 92–98.

ВЕСТНИК
ТВЕРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»

Научный рецензируемый журнал

№ 1 (5), 2020

Редактор Ю.А. Якушева

Корректор А.В. Смирнов

Подписано в печать 19.05.2020

Дата выхода в свет 07.08.2020

Формат 60x84 1/8

Физ. п. л. 12,375

Тираж 500 экз.

Усл. п. л. 11,509

Заказ № 336

Бумага писчая

Уч.-изд. л. 10,766

С – 99

Редакционно-издательский центр
Тверского государственного технического университета
Адрес издателя: 170026, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22
Отпечатано в ООО «Наукоемкие технологии»
Центр инженерной печати
170024, г. Тверь, ул. Академическая, д. 14