

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**

**№ 4 (16), 2022**

Тверь 2022

Вестник Тверского государственного технического университета: научный журнал. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». Тверь: Тверской государственный технический университет, 2022. № 4 (16). 88 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 специальностям: 0.1.5 Строительные материалы и изделия, 2.4.4 Электротехнология и электрофизика, 2.6.10 Технология органических веществ.

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Регистрационный номер: Эл № ФС77-74949 (онлайн) от 25 января 2019 г.

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

ISSN 2686-794X (онлайн)

## СОДЕРЖАНИЕ

### СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

<i>Белов В.В., Баркая Т.Р., Куляев П.В.</i> Ползучесть мелкозернистого карбонатного бетона при различных уровнях напряжений.....	5
<i>Зеленев Е.А., Белов В.В.</i> Использование стеклобоя как вторичного заполнителя в составе цементного бетона.....	12
<i>Городничев Д.С., Курятников Ю.Ю.</i> Разработка самоуплотняющегося бетона для малых архитектурных форм.....	21
<i>Степанова Л.А., Лазарев О.Е., Боброва Н.М.</i> Выдел неостребованных земельных долей из земель общей долевой собственности .....	25
<i>Трофимов В.И.</i> Повышение эффективности работы дорожных и аэродромных плит в Арктической зоне.....	37

### ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

<i>Иванова Н.И., Дементьев А.Д., Валиева Г.Г.</i> Проблемы метрологического обеспечения тепловизионной диагностики воздушных линий электропередач.....	45
<i>Курятников Ю.Ю.</i> Разработка жаростойкого бетона для фундаментов электротехнологических установок.....	51
<i>Макаров А.Н.</i> Законы теплового излучения газовых объемов факелов и электрических дуг и фундаментальные законы физики.....	57
<i>Хавазов Т.Ш., Крупнов А.В.</i> Повышение энергоэффективности в системе освещения автомобильных дорог.....	64

### ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

<i>Качановский Ф.В.</i> Об электропроводности осадков, выпавших в Твери в 2016–2021 годах.....	73
<i>Курятников Ю.Ю.</i> Эффективность суперпластификаторов нового поколения на основе карбоксилатных эфиров.....	81

## CONTENTS

### CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

<i>Belov V.V., Barkaya T.R., Kulyaev P.V.</i> Creep fine carbonate concrete at different stress levels .....	5
<i>Zelenev E.A., Belov V.V.</i> Use of glass cladding as secondary aggregate in cement concrete.....	12
<i>Gorodnichev D.S., Kuryatnikov Y.Y.</i> Development of self-compacting concrete for small architectural forms.....	21
<i>Stepanova L.A., Lazarev O.E., Bobrova N.M.</i> Division of unclaimed land shares from common shared property land.....	25
<i>Trofimov V.I.</i> Increasing the efficiency of road and airfields in the Arctic zone.....	37

### ELECTRICAL ENGINEERING

<i>Ivanova N.I., Dementyev A.D., Valieva G.G.</i> Problems of metrological support of thermal imaging diagnostics of overhead power lines.....	45
<i>Kuryatnikov Y.Y.</i> Development of heat-resistant concrete for foundations of electrotechnological installations .....	51
<i>Makarov A.N.</i> Laws of thermal radiation of gas volumes and fundamental laws of physics .....	57
<i>Khavazov T.Sh., Krupnov A.V.</i> Improving energy efficiency in the highway lighting system.....	64

### CHEMICAL TECHNOLOGY

<i>Kachanovsky F.V.</i> About of the electrical conductivity of the precipitation in Tver during 2016–2021 years.....	73
<i>Kuryatnikov Y.Y.</i> The effectiveness of new generation superplasticizers based on carboxylate esters.....	81

**СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**

УДК 691.539.216

**ПОЛЗУЧЕСТЬ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО КАРБОНАТНОГО БЕТОНА  
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ НАПРЯЖЕНИЙ****В.В. Белов, Т.Р. Баркая, П.В. Куляев***Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*© Белов В.В., Баркая Т.Р.,  
Куляев П.В., 2022

***Аннотация.** В работе исследованы показатели мгновенной и кратковременной ползучести мелкозернистого карбонатного бетона при различных уровнях напряжений в сравнении с обычными мелкозернистыми бетонами. Показано изменение значений деформации ползучести в зависимости от величины приложенной нагрузки и дней выдержки, а также в зависимости от содержания известнякового наполнителя и суперпластификатора. Представлено сравнение результатов испытаний базового состава бетона и состава мелкозернистого карбонатного бетона.*

***Ключевые слова:** ползучесть мелкозернистого карбонатного бетона, влияние уровней напряжений.*

**DOI: 10.46573/2658-7459-2022-4-5-12**

Все компоненты мелкозернистого карбонатного бетона работают совместно при появлении напряжений, что имеет решающее значение для оценки пластических деформаций в различных структурах материала при разных уровнях напряжений. Важно различать условно-мгновенные и кратковременные деформации. Вода в твердеющем цементном камне присутствует в порах, внутренних микро- и мезотрещинах и находится как в свободном, так и в адсорбционно-связанном состоянии. Кроме того, между частицами всех уровней находится водная микропленка в виде гелеобразного вещества, которое является коагулирующей фазой в бетоне. Избыток воды и повышенное водоцементное соотношение, по мнению многих авторов, приводят к увеличению упругих и изменению пластических деформаций, обусловленных выдавливанием свободной воды из пор, деформацией каркаса (твёрдого скелета), развитием деформаций ползучести под влиянием капиллярного перераспределения жидкости при сжатии и силовом сдавливании пор, а также перемещением влаги к границе раздела цементного камня с воздухом. Все эти моменты являются решающими в случае изменения напряжений при учете факторов ползучести.

При оценке деформационных и прочностных характеристик бетона при различных напряжениях необходимо учитывать степень дисперсности композитных элементов. С

увеличением удельной поверхности наполнителя и микродобавок растет количество центров кристаллизации на единицу объема композита и микроструктуры межфазных областей, что приводит к увеличению количества воздушных и капиллярных микропор. Кроме того, в быстротвердеющем монолите на основе цемента на границах центров кристаллизации возникают многочисленные концентраторы внутренних напряжений на микроуровне, в связи с чем увеличиваются микротрещины. Это также вызывает увеличение деформаций и значений как кратковременной, так и мгновенной прочности или ползучести материала.

Таким образом, задача снижения уровней деформации ползучести бетона и повышения его механических свойств сводится к рассмотрению по крайней мере двух парадигм: замедления процесса схватывания цементной пасты (гидратации) во времени за счет более равномерного распределения частиц цемента в объеме композита и замедления доступа свободной воды в фазу, неактивную по отношению к основным процессам гидратации; физического вытеснения воды из крупных воздушных и капиллярных микропор и, как следствие, ее частичного переноса в область геля (тем самым ползучесть бетона становится менее изменчивой в зависимости от различных воздействующих факторов, изменения напряжений). Как известно, состав минеральной части сырьевой смеси может быть оптимизирован двумя способами: приближением к эталонной кривой гранулометрического состава путем выбора соотношения отдельных фракций агрегатов; смешиванием реального сырья в определенном соотношении.

В работе [1] показаны современные исследования бетона с добавками известняка, а также влияние различных факторов на его ползучесть. Установлено, что на деформации ползучести в значительной степени влияют следующие факторы: соотношение вода – твердое вещество, тонкость помола вяжущего, прочность, возраст бетона на момент приложения нагрузки и ее величина. Влияние таких параметров, как структура, состав бетона, процент пластифицирующих и минеральных добавок, рассмотрено в статьях [2, 3], где также изучено влияние мелкодисперсного наполнителя из известняка на реологические и технологические свойства бетона.

В настоящей работе исследовано изменение значений деформаций ползучести для базовой и карбонатной мелкозернистой смесей. Деформации ползучести на различных уровнях напряжений – мгновенные (в течение 1 дня нагружения) и кратковременные (нагружение осуществлялось от 1 до 7 дней) – определены экспериментально в различных условиях. При этом варьировались следующие факторы. При различных напряжениях (значение нагрузки составляло 50, 60, 70, 80 кН) отношение известняка к цементу составляло 0,5, содержание суперпластификатора СП-1 было принято равным 0,5 % от массы цемента. Относительные деформации ползучести (далее – деформации ползучести) рассчитывались путем деления их абсолютных значений по индикатору часового типа на базу индикатора, равную 50 мм. По результатам экспериментов установлены характеристики, а именно поведение (в динамике) деформаций ползучести на образцах с размерами граней  $10 \times 10 \times 10$  см для базовой и карбонатной мелкозернистых смесей. Заполнителем базового состава бетона была песчано-гравийная смесь, а дробленые известняковые породы составляли карбонатный мелкозернистый заполнитель. Все образцы бетона (по 8 для каждого из обоих составов, по 2 на одну нагрузку) хранились в естественных условиях в течение 28 дней. В табл. 1 и 2 представлены базовый и известняковый составы мелкозернистой смеси.

Таблица 1

## Базовый состав мелкозернистого бетона

Компоненты	Состав, кг/м <sup>3</sup>
Цемент	660
Песчано-гравийная смесь	1 460
Вода	292
СП-1	1,8

Таблица 2

## Состав мелкозернистого карбонатного бетона

Компоненты	Состав, кг/м <sup>3</sup>
Цемент	348
Известняковый заполнитель	1 490
Вода	298
Известняковый наполнитель	348
СП-1	2,6

Испытательное устройство состояло из жесткой рамы, метрической линейки, уровня, динамометра и индикатора часового типа (рис. 1).



Рис. 1. Устройство для испытания на деформацию ползучести (фото автора)

Результаты испытаний приведены в табл. 3 (для основной смеси) и табл. 4 (для карбонатной мелкозернистой бетонной смеси).

Таблица 3

Измеренные деформации ползучести бетона базового состава  
в зависимости от приложенной нагрузки и дней ее воздействия

Деформации ползучести	Сутки						
	1-е	2-е	3-е	4-е	5-е	6-е	7-е
	Нагрузка 50 кН						
	0,000 02	0,000 06	0,000 09	0,000 11	0,000 15	0,000 17	0,000 21
	Нагрузка 60 кН						
	0,000 09	0,000 13	0,000 18	0,000 27	0,000 31	0,000 39	0,000 42
	Нагрузка 70 кН						
	0,000 26	0,000 35	0,000 52	0,000 66	0,000 78	0,000 89	0,000 93
Нагрузка 80 кН							
0,000 32	0,000 39	0,000 64	0,000 78	0,000 86	0,001 02	0,001 06	

Таблица 4

Измеренные деформации ползучести  
мелкозернистого карбонатного бетона  
в зависимости от приложенной нагрузки и дней ее воздействия

Деформации ползучести	Сутки						
	1-е	2-е	3-е	4-е	5-е	6-е	7-е
	Нагрузка 50 кН						
	0,000 05	0,000 08	0,000 12	0,000 16	0,000 18	0,000 18	0,000 19
	Нагрузка 60 кН						
	0,000 13	0,000 18	0,000 28	0,000 34	0,000 36	0,000 38	0,000 40
	Нагрузка 70 кН						
	0,000 33	0,000 40	0,000 60	0,000 72	0,000 84	0,000 87	0,000 91
Нагрузка 80 кН							
0,000 41	0,000 44	0,000 72	0,000 83	0,000 91	0,001 00	0,001 08	

Результаты испытаний свидетельствуют о некотором уменьшении деформаций ползучести карбонатного мелкозернистого бетона в более поздние периоды твердения (рис. 2).



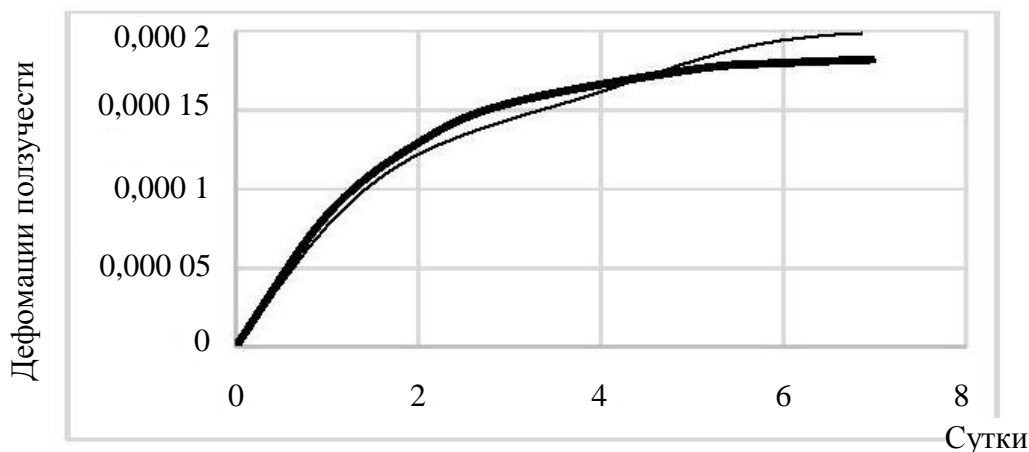


Рис. 2. Кривая деформации ползучести для известнякового композита (жирная кривая) в сравнении с базовым (тонкая) при нагрузке 50 кН

На рис. 2 показано, что, хотя кратковременные деформации ползучести карбонатных мелкозернистых композиций оказались больше, чем у основного состава, из-за кратковременного объемного пластического деформирования матрицы, выравнивание микроструктуры композита способствует улучшению характеристик ползучести бетона, стимулирует деформации на первых стадиях затвердевания, но ограничивает их в более поздние периоды, особенно в долгосрочной перспективе. Установлено, что точка выравнивания двух кривых в значительной степени зависит от дней приложения нагрузки, ее величины, соотношения воды и твердого вещества, содержания известнякового наполнителя и суперпластификатора, размера заполнителя и тонкости наполнителя. Выравнивание может появиться как на более ранних, так и на более поздних стадиях твердения камня.

Известняковый наполнитель имеет широкий диапазон размеров гранул. Благодаря этому заполняются пустоты между частицами цемента во время обработки, что приводит к снижению потребности в воде, улучшению однородности смеси и унификации микроструктуры композита. Из-за лучшей упаковки частиц внутри бетонной матрицы и уменьшения пористости, вызванного переносом микротрещин из воздушных и капиллярных областей в микрзоны и сжатием микротрещин до внутренних микроструктурных ядер (что, в частности, лишает композитную структуру микропластичных энергозатратных областей), также происходит неуклонное уменьшение ползучести известнякового мелкозернистого бетона в поздние сроки. Это делает карбонатный мелкозернистый композит менее хрупким и несвязным на микроуровне, чем базовый состав.

Таким образом, можно сказать, что комплексная добавка известнякового наполнителя и суперпластификатора СП-1 положительно влияет на характеристики ползучести известнякового мелкозернистого бетона в более поздние сроки его твердения. Дальнейшие перспективы улучшения характеристик ползучести известняковых мелкозернистых бетонов, как полагают многие ученые, связаны с использованием некоторых современных материалов, новых гиперпластификаторов и методов моделирования наноразмерных областей.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Schutter G.De. Effect of limestone filler as mineral addition in self compacting concrete // *36th Conference on Our World in Concrete & Structures: «Recent Advances in the Technology of Fresh Concrete»*, Proceedings. Ghent: Ghent University, Department of Structural Engineering. 2011, pp. 49–54.
2. Белов В.В., Субботин С.Л., Куляев П.В. Прочностные и деформационные свойства бетона с карбонатными микрозаполнителями // *Строительные материалы*. 2015. № 7. С. 25.
3. Chaid R., Jauberthie R., Boukhaled A. Effect de l'ajout calcaire sur la durabilite des betons // *Lebanese Science Journal*. 2010. No. 1. P. 11.
4. Desnerck P., Schutter G.De., Taerwe L. Stress-strain behavior of self-compacting concretes containing limestone fillers // *Structural concrete*. 2012. No. 2 (13), pp. 95–101.
5. Методические рекомендации по оценке напряженного состояния железобетонных элементов транспортных конструкций с учетом ползучести и усадки бетона М.: ЦНИИС. 2011. 253 с.
6. Бердов Г.И., Ильина Л.В., Зырянова В.Н., Никоненко Н.И., Мельников А.В. Улучшение свойств композитных строительных материалов путем внедрения минеральных микроволокон // *Стройпрофи: строительные технологии и бетон*. 2012. № 2. С. 25–27.
7. Белов В.В., Смирнов М.А. Новые принципы определения состава высококачественного бетона // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2008. № 13. С. 341–346.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

*БЕЛОВ Владимир Владимирович* – советник РААСН, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, Тверской государственной технической университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

*БАРКАЯ Темур Рауфович* – кандидат технических наук, заведующий кафедрой конструкций и сооружений, Тверской государственной технической университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: btrs@list.ru

*КУЛЯЕВ Павел Викторович* – кандидат технических наук, доцент кафедры конструкций и сооружений, Тверской государственной технической университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: p.kuliaev@yandex.ru

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА**

Белов В.В., Баркая Т.Р., Куляев П.В. Ползучесть мелкозернистого карбонатного бетона при различных уровнях напряжений // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2022. № 4 (16). С. 5–12.

**CREEP FINE CARBONATE CONCRETE AT DIFFERENT STRESS LEVELS**

*V.V. Belov, T.R. Barkaya, P.V. Kulyaev*  
*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** The paper presents the results of study of instant and short-term creep of fine-grained carbonate concrete under different stress levels, as compared to those of ordinary concretes. The article reveals creep strain values alteration as regards applied load values and days of exposure and depending on limestone powder and superplasticizer content. The comparison of test figures of the basic concrete composition and fine-grained carbonate concrete composition also have been presented.

**Keywords:** fine carbonate concrete, deformation properties, creep, loading levels.

**REFERENCES**

1. Schutter G.De. Effect of limestone filler as mineral addition in self compacting concrete. *36th Conference on Our World in Concrete & Structures: «Recent Advances in the Technology of Fresh Concrete»*, Proceedings. Ghent: Ghent University, Department of Structural Engineering. 2011, pp. 14–16.
2. Belov V.V., Subbotin S.L., Kulyaev P.V. Strength and deformation properties of concrete with carbonate microfillers. *Stroitel'nye materialy*. 2015. No. 7. P. 25. (In Russian).
3. Chaid R., Jauberthie R., Boukhaled A. Effect de l'ajout calcairesur la durabilite des betons. *Lebanese Science Journal*. 2010. No. 1. P. 11.
4. Desnerck P., Schutter G.De., Taerwe L. Stress-strain behavior of self-compacting concretes containing limestone fillers. *Structural concrete*. 2012. No. 2 (13), pp. 95–101.
5. Methodological recommendations for assessing the stress state of reinforced concrete elements of transport structures, taking into account creep and shrinkage of concrete. Moscow: TSNIIS. 2011. 253 p.
6. Berdov G.I., Il'ina L.V., Zyryanova V.N., Nikonenko N.I., Mel'nikov A.V. Improving the properties of composite building materials by introducing mineral micro-fillers. *Strojprofil': stroitel'nye tekhnologii i betony*. 2012. No. 2, pp. 25–27. (In Russian).
7. Belov V.V., Smirnov M.A. New principles for determining the composition of high-quality concrete. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2008. No. 13, pp. 341–346. (In Russian).

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

*BELOV Vladimir Vladimirovich* – Adviser of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, 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

*BARAYA Temur Raufovich* – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: btrs@list.ru

*KULIAEV Pavel Victorovich* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: p.kuliaev@yandex.ru

**CITATION FOR AN ARTICLE**

Belov V.V., Barkaya T.R., Kulyaev P.V. Creep fine carbonate concrete at different stress levels // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2022. No. 4 (16), pp. 5–12.

**УДК 699.844**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕКЛОБОЯ КАК ВТОРИЧНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ  
В СОСТАВЕ ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА**

*Е.А. Зеленов, В.В. Белов*

*Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*

© Зеленов Е.А., Белов В.В., 2022

**Аннотация.** Рассмотрены возможности разработки ресурсосберегающей технологии производства бетонных смесей с использованием стеклобоя в качестве крупного заполнителя для изготовления монолитных полов. Изучены способы применения стеклобоя в качестве материала для строительства, перспективы его использования в качестве заполнителя для бетонов. Показано, что стекольный бой, плотность которого ниже плотности традиционных заполнителей, может служить отличным сырьем и выступать в качестве заполнителя бетона, а также способствовать сокращению затрат на добычу природных ресурсов и уменьшению энергии для их переработки.

**Ключевые слова:** стекло, стеклобетон, отходы стекла, заполнитель, свойства.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2022-4-12-20**

В настоящее время одним из перспективных направлений является разработка энергоресурсосберегающих технологий, в которых вместо первичных применяются вторичные сырьевые материалы. Это позволяет уменьшить объемы отходов в окружающей среде и вовлечь их в ресурсный цикл, сократив при этом объемы использования первичных природных ресурсов.

Стекланные отходы – одни из основных. Они представляют собой трудноутилизируемый материал, имеющий различный дисперсный состав, который практически не используется повторно.

В строительстве бетон может применяться как в любых конструкциях, несущих и самонесущих, так и в изделиях декоративных и отделочных. В настоящее время товароборот бетона сокращается из-за кризиса, пандемии и нехватки ресурсов. Встает вопрос о внедрении новых энергоресурсосберегающих технологий, которые позволят увеличить объемы производства и снизят потребность в первичных природных ресурсах.

Стеклобой может быть использован не только при производстве стеклотары, но и в сфере производства строительных материалов, в том числе теплоизоляционных (стеклокерамзита, стеклоблоков, пеностекла, ячеистого бетона) [1–3].

Ресурсная база несортированного боя технических стекол представляется весьма значительной для производства строительных материалов, в том числе для производства бетонной смеси с заполнителем из стекольного боя.

В качестве потенциальных потребителей стеклобоя могут выступать предприятия по выпуску строительных материалов, изделий и конструкций.

Возможность использования стеклобоя при производстве строительных материалов различного назначения доказана перечнем исследований, проводимых в разные годы во многих научно-исследовательских организациях и ведущих технических вузах Российской Федерации [4, 5].

Стеклобой широко используется в качестве заменителя природного сырья. В первую очередь речь идет о частичной замене шихты стеклобоем, которая позволяет ощутимо сократить расход сырьевых материалов, снизить энергетические затраты и сэкономить топливо.

Измельченный стеклобой может быть использован при производстве цветной декоративной облицовочной плитки, декоративном оформлении жилых и промышленных зданий и сооружений, для внутренней отделки помещений, создания декоративных панно и фасадной облицовочной и теплоизоляционной керамики (плитки, плит, блоков и кирпича). Кроме того, он может применяться в качестве компонента глазури для покрытия плитки.

Стеклобой используется при производстве пеностекла. Способ получения последнего включает предварительное измельчение стеклобоя, его мокрый помол с получением стекольной вяжущей суспензии, формование, вспенивание, выдержку при температуре вспенивания и отжиг. В частности, существует аналог гранулированного пеностекла – заполнитель искусственный пористый, применяемый при приготовлении легких и силикатных бетонов.

В ближайшем зарубежье на базе Карагандинского государственного технического университета имени Абылкаса Сагинова проводятся эксперименты с целью изучения замещения части цемента в составе тяжелого бетона мелкодисперсным стеклом [6].

Бой стекла применяется в дорожном строительстве в составе асфальтобетона или так называемого гласфальта (от англ. glass – стекло, asphalt – асфальт) [7]. Стеклобой используется в качестве заполнителя при производстве дорожных и тротуарных покрытий [8], а также для получения стеклянных микрошариков, которые могут быть использованы в том числе при изготовлении световозвращающих устройств для дорог [9].

Известен способ производства плит для защиты и предупреждения случайного повреждения прокладываемых в траншеях электрических кабелей, в которых отходы в виде битого измельченного стекла применяются в качестве наполнителя [10].

В западных странах также создаются новые материалы на основе стеклобоя. В Америке изобретены белые и цветные кирпичи, сделанные из стеклобоя и макулатуры, а также материал тиксит, получаемый из дробленого стеклобоя, строительного бутового камня и глины. В Великобритании известно применение стеклобоя в качестве материала или основы для дренажа для многослойных конструкций в пределах проезжей части автомобильной дороги [11].

В НИУ МГСУ с конца XX века проводились различные исследования [12–14] возможности применения тонкоизмельченного боя искусственных стекол в качестве наполнителей и заполнителей для бетона и для получения вяжущих как автоклавного, так

и неавтоклавного твердения. Были получены новые строительные материалы, которые характеризовались высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами. В частности, элементы мощения, изготовленные по вибропрессовой технологии, имели прочность при сжатии от 35 до 60 МПа, морозостойкость  $F_1$  более 250 циклов и характеризовались высокой коррозионной стойкостью по отношению к солям, кислотам, щелочам. В строительном университете также велась разработка состава вяжущего для получения конструкционно-теплоизоляционного ячеистого бетона неавтоклавного твердения со следующими показателями: марки по плотности – D600–D800, классы по прочности – B1,5–B2,5, теплопроводность – 0,12–0,16 Вт/м<sup>2</sup>С [14].

В настоящее время в НИУ МГСУ проводятся исследования с целью создания безавтоклавных, экологически чистых, энергосберегающих технологий производства новых видов строительных материалов, в том числе теплоизоляционных, на основе стеклобоя [15, 16]. Работы ведутся в области создания строительных растворов, мелкозернистых бетонов и поризованных теплоизоляционных материалов на основе стеклобоя, подборов их составов и технологий изготовления. Так, был разработан способ изготовления конструкционно-теплоизоляционных изделий методом электропрогрева, включающий приготовление смеси на основе жидкого стекла, стеклобоя и полистирола [14].

В статьях [17, 18] приведены примеры того, как использование вторичных видов сырья помогает снизить затраты на добычу и обработку необходимых ресурсов. Во-первых, используются отходы в 2–3 раза дешевле природного сырья, во-вторых, расход энергии уменьшается на 10–40 %.

Исследования [19] показали, что каждая тонна переработанного стекла экономит более тонны природного сырья, в том числе около 650 кг песка, 186 кг соды и около 200 кг известняка; данная экономия распространяется на всю сырьевую цепочку, включая добычу сырья и его перевозку. Авторы статьи [20] столкнулись с проблемой вторичного использования стеклобоя в нашей стране. Она заключается в неорганизованности сбора стеклянного боя, сложности и трудоемкости процесса сбора, очистки, сортировки стеклянного сырья.

В статье [21] подчеркнуто, что использование стеклобоя позволяет получить бетоны с характеристиками, превосходящими по прочности обычные бетоны на песчаном заполнителе. Такое увеличение прочности будет достигаться за счет поверхностной кристаллизации крупного заполнителя. Кроме того, в статье [21] говорится о возможности использования тонкодисперсного стекла, но уже в виде вяжущего или с дальнейшей переработкой в пеностекло. Экспериментально установлено [17], что мелкие и крупные фракции стекла применять нецелесообразно по причине большей вероятности протекания силикатно-щелочной реакции, однако ее можно подавить при помощи добавок или путем предварительной термообработки.

Авторы статей [17, 18] считают наиболее эффективным использование пеностекла в качестве заполнителя. Это позволит получить широкий диапазон свойств.

Существуют не только плюсы использования стекла в бетоне, но и минусы. Взаимодействие натрий-кальциевого стекла с цементным камнем создает серьезную проблему при использовании стеклобоя в качестве наполнителя. В результате этой реакции образуется силикатный гель, накопление которого может привести к увеличению осмотического давления внутри затвердевшего бетона и его растрескиванию

[17, 19, 22–24]. Больше всего подвержены коррозионному разрушению бетоны с использованием естественного и смешанного фракционного состава [17, 22].

Исследования [17] показали, что избежать щелочесиликатной реакции при использовании стеклобоя в качестве мелкого заполнителя без дополнительных обработок и добавок невозможно.

В статье [22] рассмотрена проблема внутренней коррозии, связанной с протеканием щелочесиликатной реакции между частицами наполнителя. Авторы статьи [22] предлагают такие решения проблемы: 1) использование низкощелочных цементных вяжущих; 2) применение заполнителей, не содержащих реакционноспособный диоксид кремния. Кроме того, предлагается применять минимальное количество цемента или изготавливать бетон на цементах, содержащих небольшое количество щелочей, использовать добавки к цементу, которые позволяют уменьшить количество щелочей в цементе или вводить гидрофобизирующие и газовыделяющие добавки.

Применение типового ряда модификаторов бетона может существенно затормозить проявление щелочной коррозии. К такому выводу пришли авторы статьи [23]. Они предлагают использовать в качестве подавителя деформаций расширения при щелочной коррозии «Лигнопан Б-4», УПД-1, МЛ-2 и (особенно эффективно) суперпластификатор С-3.

В статье [24] авторы использовали активную минеральную добавку, имеющую кислый характер, что привело к уменьшению основности вяжущего и понижению активности щелочи за счет химического поглощения последней активными компонентами смешанного вяжущего. Гидравлически активными компонентами смешанного вяжущего являются аморфный кремнезем цеолитсодержащей породы и стеклофаза золы ТЭЦ.

Альтернативой добавкам выступили методы, описанные в статьях [17, 21]. Авторы пришли к выводу о том, что необходима кристаллизация стекла на поверхности заполнителя, которая приведет к подавлению силикатно-щелочной реакции. Для этого требуется провести термообработку стекла в печи, после чего на поверхности стекла образуется кристаллическая «пленка», которая в дальнейшем и предотвратит начало коррозии.

Авторы статьи [21] также рассмотрели полное подавление щелочно-силикатной реакции путем добавления высокодисперсного оксида кремнезема (0,5–5 %) и использовали ионно-модифицированное стекло с заменой  $\text{Na}^+$  на  $\text{H}^+$ .

Для эффективного применения стекольного заполнителя необходимо определиться с фракционным составом. В статье [17] были рассмотрены различные фракционные составы стеклобоя в бетоне и проанализировано их влияние на итоговую прочность. В результате этого выяснилось, что предпочтительная фракция – 1,2 мм и выше. Самый минимум прочности достигается на фракции 0,1–0,3 мм. Существенное расширение образцов (вследствие силикатно-щелочной реакции) достигается на заполнителе 1,25 мм. При размере частиц меньше 50 мкм происходит аномальный рост прочности, что обусловлено высокой удельной поверхностью. Чтобы использовать крупные фракции от 5 до 20 мм, необходимы две добавки: суперпластификатор и замедлитель схватывания. Это позволит снизить воздействие щелочесиликатной реакции на бетон [25].

Авторы статьи [20] получили данные, в которых описывается применение различного вида стеклобоя в бетоне в зависимости от назначения конструкции. Таким образом, для изделий автоклавного твердения добавка стеклобоя в объеме 1,2 % позволяет получить материал с плотностью 1 230 кг/м<sup>3</sup>. Молотое стекло в составе 2–30 % с

различными добавками позволяет изготовить кислотостойкие ячеистые бетоны. Тонкомолотый стеклобой в количестве 2–5 % используется для получения жаростойкого бетона.

По результатам работы [25] выявлено, что применение стеклобоа в количестве 30 % от общего заполнителя является наиболее эффективным, а минимальное эффективное количество составило около 10 %.

Таким образом, анализ литературных источников показывает, что использование стеклянных отходов в качестве заполнителей для бетонов, с одной стороны, экономически выгодно и целесообразно, экономит природные ресурсы и энергию на их обработку, а с другой – эффективно для получения новых видов бетона и их модификаций, удовлетворяющих своими характеристиками всем современным требованиям.

Оптимальное использование стеклянных отходов заключается в применении их в качестве заполнителя для бетона. Наиболее эффективное применение – крупный заполнитель или сырье для переработки в пеностекло. Эти варианты не требуют дополнительных мер против силикатной коррозии. Однако можно использовать стеклобой как мелкий, средний и крупный заполнитель, но с применением специальных добавок, предотвращающих появление щелочесиликатной коррозии, или подвергать заполнитель термообработке.

Использование стеклобоа в качестве заполнителя для бетона является перспективным, экономически выгодным и ресурсоэффективным методом для получения требуемых технических характеристик бетона, удовлетворяющих всем стандартам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минько Н.И., Добринская О.А. Технологические особенности использования стеклобоа в производстве стекломатериалов // *Техника и технология силикатов*. 2019. Т. 26. № 1. С. 9–14.
2. Минько Н.И., Пучка О.В., Кузьменко А.А., Степанова М.Н. Перспективы развития технологии производства и применения пеностекла // *Стекло мира*. 2006. № 4. С. 91–92.
3. Минько Н.И., Добринская А.О., Гридякин К.Н., Бугаков А.С. Системный подход к использованию вторичных продуктов в технологии стекломатериалов // *Стекло и керамика*. 2017. № 5. С. 3–6.
4. Кетов П.А. Минимизация негативного воздействия на окружающую среду отходов стекла путем использования в строительстве. Дисс... канд. техн. наук. Пермь. 2019. 154 с.
5. Никонов А.С. Разработка теплоизоляционного материала с высокими эксплуатационными свойствами из отходов листового стекла. Дисс... канд. техн. наук. Иваново. 2017. 115 с.
6. Алтынова А.Е., Айдарова Н.А., Саркенов Б.Б. Исследование и разработка технологии получения бетона с использованием переработанных отходов стекла // *Современные научные исследования и инновации*. 2015. № 4. Ч. 2. С. 20–26. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/04/51745> (дата обращения: 15.06.2022).
7. Гайдук Д.М., Литвинчук М.А., Васильева Е.И. Стеклобой как альтернатива природному мелкому заполнителю в асфальтобетонах. *Инновации в строительстве и эксплуатации дорожно-строительного комплекса: Международная научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов*. Минск: БНТУ, 2017. С. 51–53.
8. Патент РФ 2632082. *Бетонная смесь* / Тимохин Д.К., Геранина Ю.С., Страхов А.В., Иващенко Ю.Г.; Заявл. 04.07.2016. Оpubл. 02.10.2017. Бюл. № 28.



9. Патент РФ 2692712. *Способ получения микрошариков для световозвращающих покрытий* / Косяков А.В., Никулин С.В., Будов В.В., Кулигин С.В., Ишков А.Д., Сальников Е.П., Ровой В.В.; Заявл. 14.01.2018. Опубл. 26.06.2019. Бюл. № 18.
10. Патент РФ 173092. *Плита для закрытия кабеля* / Кулигин Е.В.; Заявл. 16.02.2017. Опубл. 10.08.2017. Бюл. № 22.
11. Meland I., Dahl P.A. Recycling glass cullet as concrete aggregates, applicability and durability. *Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium 19–20 March 2001*. Dundee UK, pp. 167–177.
12. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности. М.: Феникс. 2007. 368 с.
13. Шестеркин М.Н. Ячеистый бетон неавтоклавно твердения на основе стеклобоя. Дисс.... канд. техн. наук. Москва. 2002. 197 с.
14. Патент РФ 2606486. *Способ изготовления стеновых изделий на основе жидкого стекла и стеклобоя методом электропрогрева* / Логунин А.Ю., Соков В.Н., Бегляров А.Э.; Заявл. 31.12.2014. Опубл. 10.01.2017. Бюл. № 1.
15. Зайцева А.А., Самченко С.В. Использование несортированного боя стекла в производстве теплоизоляционных материалов. *Сборник материалов I Всероссийской научной конференции, посвященной 90-летию выдающегося ученого-материаловеда Юрия Михайловича Баженова*. М.: МИСИ – МГСУ. 2020. С. 232–236. URL: <https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/> (дата обращения: 15.06.2022).
16. Зайцева А.А. Эффективный газобетон для тепловой изоляции трубопроводов. *Строительство – формирование среды жизнедеятельности: Сборник трудов Восемнадцатой Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых*. М.: НИУ МГСУ, 2015. С. 853–855.
17. Пузанов С.И. Особенности использования материалов на основе стеклобоя как заполнителей портландцементного бетона // *Строительные материалы*. 2007. № 7. С. 12–15.
18. Пузанов С.И., Кетов А.А. Комплексная переработка стеклобоя в производстве строительных материалов // *Экология и промышленность России*. 2009. № 12. С. 4–7.
19. Баратов С.Э. Вторичная переработка стекла в России: взгляд изнутри // *Наука, техника и образование*. 2015. № 3 (9). С. 33–35.
20. Шелковникова Т.И., Баранов Е.В., Черкасов С.В. Проблемы и перспективы сбора и переработки боя стекла и применение изделий на его основе // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2019. Т. 4. № 9. С. 14–20.
21. Минько Н.И., Калатоzi В.В. Использование стеклобоя в технологии материалов строительного назначения // *Вестник БГТУ*. 2018. № 1. С. 82–88.
22. Саулин Д.В. Исследование щелочесиликатного взаимодействия пеностекольных наполнителей с цементным вяжущим // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология*. 2017. № 1. С. 89–104.
23. Морозова Н.Н., Хозин В.Г. Проблема щелочной коррозии бетонов в Республике Татарстан и пути ее решения // *Строительные материалы и технологии. Известия*

*Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2005. № 2 (4). С. 58–63.*

24. Изотов В.С. Особенности щелочной коррозии и высолообразования в бетонах на смешанных вяжущих // *Строительные материалы и технологии. Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2003. № 1. С. 68–69.*

25. Петропавловская В.Б., Баркая Т.Р. Пустотелые бетонные блоки с рециклинговым заполнителем // *Строительные материалы. 2016. № 3. С. 69–75.*

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

*ЗЕЛЕНЕВ Евгений Александрович* – аспирант кафедры производства строительных изделий и конструкций, Тверской государственной технической университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: e.zelenev@yandex.ru

*БЕЛОВ Владимир Владимирович* – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, Тверской государственной технической университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Зеленев Е.А., Белов В.В. Использование стеклобоя как вторичного заполнителя в составе цементного бетона // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2022. № 4 (16). С. 12–20.*

---

### USE OF GLASS CLADDING AS SECONDARY AGGREGATE IN CEMENT CONCRETE

*E.A. Zelenev, V.V. Belov*  
*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** Possibilities for development of resource-saving technology for production of concrete mixtures using glass-glass as coarse aggregate for manufacture of monolithic floors are considered. We have studied the methods of using glass glass as a material for construction, the prospects for its use as aggregate for concretes. It has been shown that glass fighting, the density of which is lower than the density of traditional aggregates, can serve as an excellent raw material as a concrete aggregate and contribute to reducing the cost of extracting natural resources and energy for their processing.

**Keywords:** glass, glass concrete, glass waste, aggregate, properties.

#### REFERENCES

1. Minko N.I., Dobrinskaya O.A. Technological features of the use of cullet in the production of glass materials. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2019. Vol. 26. No. 1, pp. 9–14. (In Russian).
2. Minko N.I., Puchka O.V., Kuzmenko A.A., Stepanova M.N. Prospects for the development of technology for the production and application of foam glass. *Steklo mira*. 2006. No. 4, pp. 91–92. (In Russian).

3. Minko N.I., Dobryanskaya A.O., Gridiakin K.N., Bulgakov A.S. A systematic approach to the use of secondary products in the technology of glass materials. *Steklo i keramika*. 2017. No. 5, pp. 3–6. (In Russian).
4. Ketov P.A. Minimization of the negative impact on the environment of glass waste through use in construction. Cand. Diss. (Engineering). Perm. 2019. 154 p. (In Russian).
5. Nikonov A.S. Development of thermal insulation material with high performance properties from sheet glass waste. Cand. Diss. (Engineering). Ivanovo. 2017. 115 p. (In Russian).
6. Altynova A.E., Aidarova N.A., Sarkenov B.B. Research and development of technology for producing concrete using recycled glass waste. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii*. 2015. No. 4. P. 2, pp. 20–26. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/04/51745> (date of access: 15.06.2022). (In Russian).
7. Gaiduk D.M., Litvinchuk M.A., Vasilyeva E.I. Glass-breaking as an alternative to natural fine aggregate in asphalt concrete. *Innovations in the construction and operation of the road construction complex: International Scientific and Technical Conference of Young Scientists, graduate students, undergraduates and Students*. Minsk: BNTU. 2017, pp. 51–53. (In Russian).
8. Patent RF 2632082. *Betonnaya smes'* [Concrete mix]. Timokhin D.K., Geranina Yu.S., Strakhov A.V., Ivashchenko Yu.G.; Declared 04.07.2016. Published 02.10.2017. Bulletin No. 28. (In Russian).
9. Patent RF 2692712. *Sposob polucheniya mikrosharikov dlya svetovozvrashchayushchih pokrytij* [Method for producing microbeads for retroreflective coatings]. Kosyakov A.V., Nikulin S.V., Budov V.V., Kuligin S.V., Ishkov A.D., Salnikov E.P., Ravovoy V.V.; Declared 14.01.2018. Published 26.06.2019. Bulletin No. 18. (In Russian).
10. Patent RF 173092. *Plita dlya zakrytiya kabelya* [Cable closure plate]. Kuligin E.V.; Declared 16.02.2017. Published 10.08.2017. Bulletin No. 22. (In Russian).
11. Meland I., Dahl P.A. Recycling glass cullet as concrete aggregates, applicability and durability. *Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium 19–20 March 2001*. Dundee UK, pp. 167–177.
12. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. *Stroitel'nye materialy iz othodov promyshlennosti* [Construction materials from industrial waste]. Moscow: Feniks. 2007. 368 p. (In Russian).
13. Shesterkin M.N. Cellular concrete of non-autoclave hardening based on cullet. Cand. Diss. (Engineering). Moscow. 2002. 197 p. (In Russian).
14. Patent RF 2606486. *Sposob izgotovleniya stenovykh izdelij na osnove zhidkogo stekla i stekloboya metodom elektroprogreva* [Method of manufacturing wall products based on liquid glass and cullet by electric heating]. Logunin A.Yu., Sokov V.N., Beglyarov A.E.; Declared 31.12.2014. Published 10.01.2017. Bulletin No. 1. (In Russian).
15. Zaitseva A.A., Samchenko S.V. The use of unsorted glass in the production of thermal insulation materials. *Collection of materials of the I All-Russian Scientific Conference dedicated to the 90th anniversary of the outstanding materials scientist, Yuri Mikhailovich Bazhenov*. Moscow: MISI – MGSU. 2020, pp. 232–236. URL: <https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/> (date of access: 15.06.2022). (In Russian).
16. Zaitseva A.A. Effective aerated concrete for thermal insulation of pipelines. *Proceedings of the Eighteenth International Interuniversity Scientific and Practical Conference of students, undergraduates, postgraduates and young scientists «Construction – formation of the life environment»*. Moscow: NRU MGSU. 2015, pp. 853–855. (In Russian).

17. Puzanov S.I. Features of the use of cullet-based materials as aggregates of Portland cement concrete. *Stroitel'nye materialy*. 2007. No. 7, pp. 12–15. (In Russian).
18. Puzanov S.I., Kretov A.A. Complex processing of cullet in the production of building materials. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2009. No. 12, pp. 4–7.
19. Baratov S.E. Glass recycling in Russia: an inside look. *Nauka, tekhnika i obrazovanie*. 2015. No. 3 (9), pp. 33–35. (In Russian).
20. Shelkovnikova T.I., Baranov E.V., Cherkasov S.V. Problems and prospects of collecting and processing glass scrap and the use of products based on it. *Vestnik BGTU*. 2019. Vol. 4. No. 9, pp. 14–20. (In Russian).
21. Minko N.I., Kalatozi V.V. The use of cullet in the technology of materials for construction purposes. *Vestnik BGTU*. 2018. No. 1, pp. 82–88. (In Russian).
22. Saulin D.V. Investigation of alkali-silicate interaction of foam glass fillers with cement binder. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Himicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya*. 2017. No. 1, pp. 89–104. (In Russian).
23. Morozova N.N., Khozin V.G. The problem of alkaline corrosion of concrete in the Republic of Tatarstan and ways to solve it. *Stroitel'nye materialy i tekhnologii. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2005. No. 2 (4), pp. 58–63. (In Russian).
24. Izotov V.S. Features of alkaline corrosion and salting in concretes on mixed binders. *Stroitel'nye materialy i tekhnologii. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2003. No. 1, pp. 68–69. (In Russian).
25. Petropavlovskaya V.B., Barkaya T.R. Hollow concrete blocks with recycling aggregate. *Stroitel'nye materialy*. 2016. No. 3, pp. 69–75. (In Russian).

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*ZELENEV Evgeny Aleksandrovich* – Graduate Student of the Department of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: e.zelenev@yandex.ru

*BELOV Vladimir Vladimirovich* – Adviser of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, 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

#### CITATION FOR AN ARTICLE

Zelenev E.A., Belov V.V. Use of glass cladding as secondary aggregate in cement concrete // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2022. No. 4 (16), pp. 12–20.

УДК 691.327

**РАЗРАБОТКА САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА  
ДЛЯ МАЛЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ***Д.С. Городничев, Ю.Ю. Курятников**Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*

© Городничев Д.С., Курятников Ю.Ю., 2022

**Аннотация.** В статье представлены результаты экспериментальных исследований по разработке самоуплотняющихся бетонов. Разработанные самоуплотняющиеся бетоны в сочетании с качественной смазкой позволяют решить задачи по изготовлению изделий с высокой категорией поверхности (А1, А2) без дополнительной отделки, уменьшению трудоемкости формования.

**Ключевые слова:** самоуплотняющийся бетон, микронаполнитель, кварцевая мука, малые архитектурные формы.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2022-4-21-25****ВВЕДЕНИЕ**

Согласно общепринятому определению, самоуплотняющийся бетон (СУБ) – это бетон, изготовленный из самоуплотняющейся бетонной смеси, которая без воздействия на нее дополнительной внешней уплотняющей энергии самостоятельно (под воздействием собственного веса) течет и уплотняется, освобождается от содержащегося в ней воздуха и полностью заполняет пространство между арматурными стержнями и опалубкой, сохраняя при этом однородность. Из вышесказанного следует, что СУБ эффективно применять для изготовления железобетонных конструкций, бетон которых сложно уплотнить механическими воздействиями, или тонкостенных изделий сложной конфигурации, а также для изготовления изделий с высоким качеством поверхности и минимальным количеством пор и других дефектов.

Подбор состава СУБ производится на основании таких же принципов, какие имеются и при подборе обычных бетонов (с учетом особенностей). Это обязательное использование пластифицирующих добавок и микронаполнителей, а также дополнительные требования к качеству и количеству компонентов смеси. Фракционный состав смеси заполнителей, пригодный для СУБ, должен обеспечивать достижение максимальной насыпной плотности [1, 2].

Роль микронаполнителя в СУБ могут выполнять минеральные порошки на основе доломита и известняка, отходы дробления горных пород, молотый доменный шлак, а также кварцевая мука. При этом к микронаполнителю должны предъявляться высокие требования по постоянству гранулометрического состава, поскольку даже небольшие его изменения оказывают значительное влияние на реологию СУБ. В статье [3] доказана высокая эффективность применения кварцевой муки для получения СУБ различных классов по удобоукладываемости (SF1, SR2, SF3) и устойчивости к расслаиваемости (SR1, SR2) при условии правильности подбора гранулометрического состава микронаполнителя. Установлено, что использование кварцевой муки D50 = 34 мкм

приводит к недостаточной оптимизации гранулометрического состава СУБ и, как следствие, расслоению смеси при ее невысокой подвижности, тогда как более тонкая фракция  $D_{50} = 17$  мкм того же типа микронаполнителя позволяет получить стойкие к расслаиваемости СУБ любых классов по удобоукладываемости за счет варьирования дозровок как самого микронаполнителя, так и суперпластифицирующей добавки.

В статье [4] установлена эффективность введения (в качестве минерального наполнителя) 10–20 % пылевидной фракции отсевов камнедробления гранита в состав вяжущего для изготовления строительных конструкций из СУБ, работающих на изгиб. Это обеспечит снижение себестоимости таких конструкций и решение проблемы утилизации техногенного отхода.

В настоящем исследовании ставилась цель изготовить СУБ для малых архитектурных форм с высокой категорией поверхности (A1 или A2) на основе предыдущего опыта подбора составов СУБ.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изготовления СУБ применяли такие сырьевые материалы, как портландцемент ЦЕМ I 42,5Н ЖИ (АО «Мордовцемент»); песок с модулем крупности 2,31; щебень природный фракции 5–10 мм; микрокремнезем конденсированный МК-85; кварцевая мука; молотый гранулированный доменный шлак; суперпластификатор «Полипласт ПК», тип S. Образцы изготавливались, а испытания выполнялись по ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам», ГОСТ Р 59714-2021 «Смеси бетонные самоуплотняющиеся. Технические условия», ГОСТ Р 59715-2022 «Смеси бетонные самоуплотняющиеся. Методы испытаний».

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Были отобраны три оптимальных состава СУБ с использованием разных наполнителей. Распływ конуса во всех составах был примерно одинаковый и составлял 56–58 см. Бетон твердел в одинаковых условиях тепловой обработки в течение 6 ч при температуре изотермической выдержки 50 °С. Физико-механические свойства СУБ представлены в таблице. Изготовленный в заводских условиях бетонный столик представлен на рис. 1. Процесс формования столешницы показан на рис. 2.

Физико-механические свойства СУБ

№	Наполнитель, кг	Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Распływ конуса, см	Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие после тепловлажностной обработки (ТВО), МПа
1	Молотый доменный гранулированный шлак, 125	415	57	2 350	38,4
2	Микрокремнезем, 50	415	56	2 331	29,1
3	Кварцевая мука, 120	415	58	2 368	42,1



Рис. 1. Столик из СУБ



Рис. 2. Формование столешницы

Наилучшие результаты показал состав с использованием кварцевой муки. При этом прочность на сжатие как сразу после ТВО, так и на 28-е сутки имеет максимальное значение. Кроме того, при использовании кварцевой муки получили наилучшую категорию поверхности изделий А2 с минимальным количеством пор и других дефектов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе разработанных оптимальных составов СУБ в заводских условиях были изготовлены изделия с высоким качеством поверхности: бетонный столик, урны, цветочницы, бетонные основания для мусорных контейнеров, декоративные полочки. Железобетонные изделия с высокой категорией поверхности (А1, А2) без дополнительной отделки в настоящее время пользуются большим спросом (малые архитектурные формы, стеновые панели). Разработанные СУБ в сочетании с качественной смазкой позволяют получить изделия с высоким качеством поверхности. Дальнейшие исследования будут направлены на уменьшение себестоимости СУБ за счет использования отходов промышленности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов Р.Р., Ибрагимов Р.А., Королев Е.В. Оптимизация фракционного состава смеси заполнителей для самоуплотняющегося бетона // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2019. № 4. С. 327–335.
2. Красовский П.С., Ельцова Н.А., Сижук А.Т. Эффективность самоуплотняющихся бетонов путем использования гиперпластификаторов // *Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке*. 2018. Т. 1. С. 377–380.
3. Пустовгар А.П., Иванова И.С., Еленова А.А., Абрамова А.Ю., Адамцевич А.О. Влияние кварцевой муки на технологические свойства самоуплотняющихся бетонных смесей // *Вестник МГСУ*. 2018. Т. 13. Вып. 6 (117). С. 717–728. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.6
4. Беднев Д.С., Добродеева А.С., Макеев А.И. Применение пылевидной фракции отсеков камнедробления для самоуплотняющихся бетонов // *Студент и наука*. 2020. № 1 (12). С. 99–105.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

*ГОРОДНИЧЕВ Дмитрий Сергеевич* – магистрант, Тверской государственный технический университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: psktstu@yandex.ru  
*КУРЯТНИКОВ Юрий Юрьевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, Тверской государственный технический университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: yuriy-k@yandex.ru

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА**

Городничев Д.С., Курятников Ю.Ю. Разработка самоуплотняющегося бетона для малых архитектурных форм // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2022. № 4 (16). С. 21–25.

**DEVELOPMENT OF SELF-COMPACTING CONCRETE  
FOR SMALL ARCHITECTURAL FORMS**

*D.S. Gorodnichev, Y.Y. Kuryatnikov*  
*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** The article presents the results of experimental studies on the development of self-compacting concrete. The developed self-compacting concretes in combination with high-quality lubrication make it possible to solve the problems of manufacturing products with a high surface category (A1, A2) without additional finishing, reducing the complexity of molding.

**Keywords:** self-compacting concrete, micro-filler, quartz flour, small architectural forms.

**REFERENCES**

1. Bogdanov R.R., Ibragimov R.A., Korolev E.V. Optimization of the fractional composition of the aggregate mixture for self-compacting concrete. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2019. No. 4, pp. 327–335. (In Russian).
2. Krasovsky P.S., Yeltsova N.A., Sizhuk A.T. The effectiveness of self-compacting concretes by using. *Nauchno-tehnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke*. 2018. Vol. 1, pp. 377–380. (In Russian).
3. Pustovgar A.P., Ivanova I.S., Elenova A.A., Abramova A.Yu., Adamtsevich A.O. Influence of quartz flour on technological properties of self-completed concrete mixtures. *Vestnik MGSU*. 2018. Vol. 13. Iss. 6 (117), pp. 717–728. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.6 (In Russian).
4. Bednev D.S., Dobrodeeva A.S., Makeev A.I. Application of dusty faction of streams of stone milling for self-sealing concrete. *Student i nauka*. 2020. No. 1 (12), pp. 99–105. (In Russian).

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

*GORODNICHEV Dmitry Sergeevich* – Master's Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: psktstu@yandex.ru  
*KURYATNIKOV Yuri Yuryevich* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: yuriy-k@yandex.ru



**CITATION FOR AN ARTICLE**

Gorodnichev D.S., Kuryatnikov Y.Y. Development of self-compacting concrete for small architectural forms // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2022. No. 4 (16), pp. 21–25.

**УДК 528.441.2**

**ВЫДЕЛ НЕВОСТРЕБОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬНЫХ ДОЛЕЙ  
ИЗ ЗЕМЕЛЬ ОБЩЕЙ ДОЛЕВОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

*Л.А. Степанова, О.Е. Лазарев, Н.М. Боброва*

*Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*

© Степанова Л.А., Лазарев О.Е.,  
Боброва Н.М., 2022

**Аннотация.** Во включении невостребованных земельных долей в гражданский оборот заинтересован каждый субъект Российской Федерации, в первую очередь из-за увеличения земельного налога. В статье рассмотрен процесс оформления невостребованных земельных долей, который на практике оказывается сложным и проблемным. Прохождение государственного кадастрового учета и государственной регистрации права в Едином государственном реестре недвижимости по подготовленным кадастровым инженером документам также является довольно длительным процессом. Этот процесс сопровождается приостановками, которые происходят по решению государственного регистратора в связи с многочисленными причинами.

**Ключевые слова:** земельный участок, невостребованная земельная доля, муниципальная собственность, проект межевания земель, межевой план, государственный кадастровый учет, регистрация прав, Росреестр.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2022-4-25-37**

С начала проведения земельной реформы в РСФСР в 1991 году при реорганизации колхозов и совхозов часть сельскохозяйственных угодий была изъята и поделена на условные земельные доли (паи) без установления их границ на местности. Размер доли определялся простым делением площади земли (пашни и других сельскохозяйственных угодий), ранее закрепленной за колхозом и совхозом, на число граждан, включенных в списки на получение земельной доли. Такие сельскохозяйственные угодья оказались в общей долевой собственности граждан, каждый из которых получил свидетельство о праве собственности на землю с указанием земельной доли (от общей площади сельскохозяйственных угодий), соответствующей выделяемому паю. Имущество колхозов и совхозов также было поделено на индивидуальные имущественные паи граждан в зависимости от трудового вклада конкретного гражданина.

Долгие годы паи представляли собой большую массу неоформленных прав на самовольно используемую третьими лицами землю.

В 2002 году был принят Федеральный закон № 101-ФЗ «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения» [2], в котором прописано, что каждый собственник земельного пая (доли) должен распорядиться своим правом в течение трех лет с момента получения. С тех пор оставалось большое количество граждан, так и не зарегистрировавших свои права на выделенные паи. Государство пыталось стимулировать таких граждан к выделу, вводя различные поправки в федеральные законы. Так, 29 декабря 2010 года в Федеральный закон № 101-ФЗ «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения» был включен п. 3 ст. 19.1, который обязывал органы местного самоуправления (сельские и поселковые администрации) с 1 июля 2012 года созывать общие собрания и ставить вопрос о межевании участков и проведении кадастровых работ. Земельную долю, которую так и не выделили и на которую не зарегистрировали право собственности в течение трех лет с момента получения такого права, признают не востребовавшей.

По данным опубликованного Росреестром «Государственного (национального) доклада о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2019 году», площадь не востребовавшихся земельных долей (НЗД) в общей площади земель сельскохозяйственного назначения, находящихся в частной собственности, составляет 11,6 % (14 795,3 тыс. га), а площадь НЗД в общей площади земель населенных пунктов, находящихся в частной собственности, составляет 0,22 % [1]. Кадастровый учет земельных участков в процессе изъятия НЗД и оформление их в муниципальную собственность повышают эффективность управления земельными ресурсами в муниципальных образованиях.

Согласно ст. 12.1 Федерального закона № 101-ФЗ «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения», не востребовавшейся признается земельная доля:

1) принадлежащая на праве собственности гражданину, который не передал ее в аренду или не распорядился ею иным образом в течение трех и более лет подряд;

2) сведения о собственнике которой не содержатся в принятых до дня вступления в силу Федерального закона от 13.07.2015 № 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости» решениях органов местного самоуправления и приватизации сельскохозяйственных угодий;

3) собственник которой умер и отсутствуют наследники как по закону, так и по завещанию, или никто из наследников не имеет права наследовать, или все наследники отказались от наследства, или никто из наследников не принял наследства, или все наследники отказались от наследства и при этом никто из них не указал, что отказывается в пользу другого наследника.

Иначе говоря, НЗД должны соответствовать ряду признаков:

1. Владелец права на земельную долю отсутствует.
2. Отсутствует информация о владельце земельной доли, а также его наследниках.
3. Наследники не могут воспользоваться своим правом по какой-то причине.
4. Права на земельную долю не были зарегистрированы в течение трех и более лет.
5. Владелец заключил договор аренды на данную долю и умер, а наследников нет.

В соответствии с существующими на момент написания статьи нормативно-методическими материалами авторами составлена таблица этапов подготовки сведений о земельном участке, выделяемом из НЗД, для дальнейшей регистрации права муниципальной собственности поселения или городского округа.

Этапы подготовки сведений о земельном участке, выделяемом из НЗД, для дальнейшей регистрации права муниципальной собственности поселения или городского округа в Едином государственном реестре недвижимости (ЕГРН)

Название этапа	Длительность	Описание
Этап 1. Составление и публикация списка НЗД	До 2 месяцев	Орган местного самоуправления поселения или городского округа по месту расположения земельного участка, находящегося в долевой собственности, составляет список лиц (при их наличии), земельные доли которых могут быть признаны невостребованными
Этап 2. Утверждение списка НЗД (ст. 14.1 Федерального закона от 24.07.2002 № 101-ФЗ «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения»)	До 4 месяцев	Список НЗД представляется органом местного самоуправления на утверждение общему собранию участников долевой собственности по истечении трех месяцев с момента публикации указанного списка. С даты утверждения списка НЗД общим собранием участников долевой собственности земельные доли, сведения о которых включены в указанный список, признаются невостребованными
Этап 3. Обращение в суд с требованием о признании права муниципальной собственности на земельные доли, признанные в установленном порядке невостребованными (ст. 14.1 Федерального закона от 24.07.2002 № 101-ФЗ «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения»)	До 2 месяцев	Орган местного самоуправления направляет исковое заявление о признании права муниципальной собственности на земельные доли, признанные в установленном порядке невостребованными, в районный суд по месту нахождения земельного участка
Этап 4. Деятельность кадастрового инженера	Нормируется договором	Подготовка проекта межевания земель, который будет являться основанием для выдела долей для утверждения. Формирование межевых планов на все образованные земельные участки из НЗД общей долевой собственности
Этап 5. Государственная регистрация права собственности на земельные доли, признанные в установленном порядке невостребованными (ст. 28 Федерального закона от 13.07.2015 № 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости»)	Не более 10 рабочих дней	При признании судом права муниципальной собственности на НЗД прекращаются права собственников указанных земельных долей. Право муниципальной собственности поселения или городского округа подлежит государственной регистрации и возникает с момента такой регистрации

Наглядно содержание процедур и мероприятий представлено на рис. 1–5.

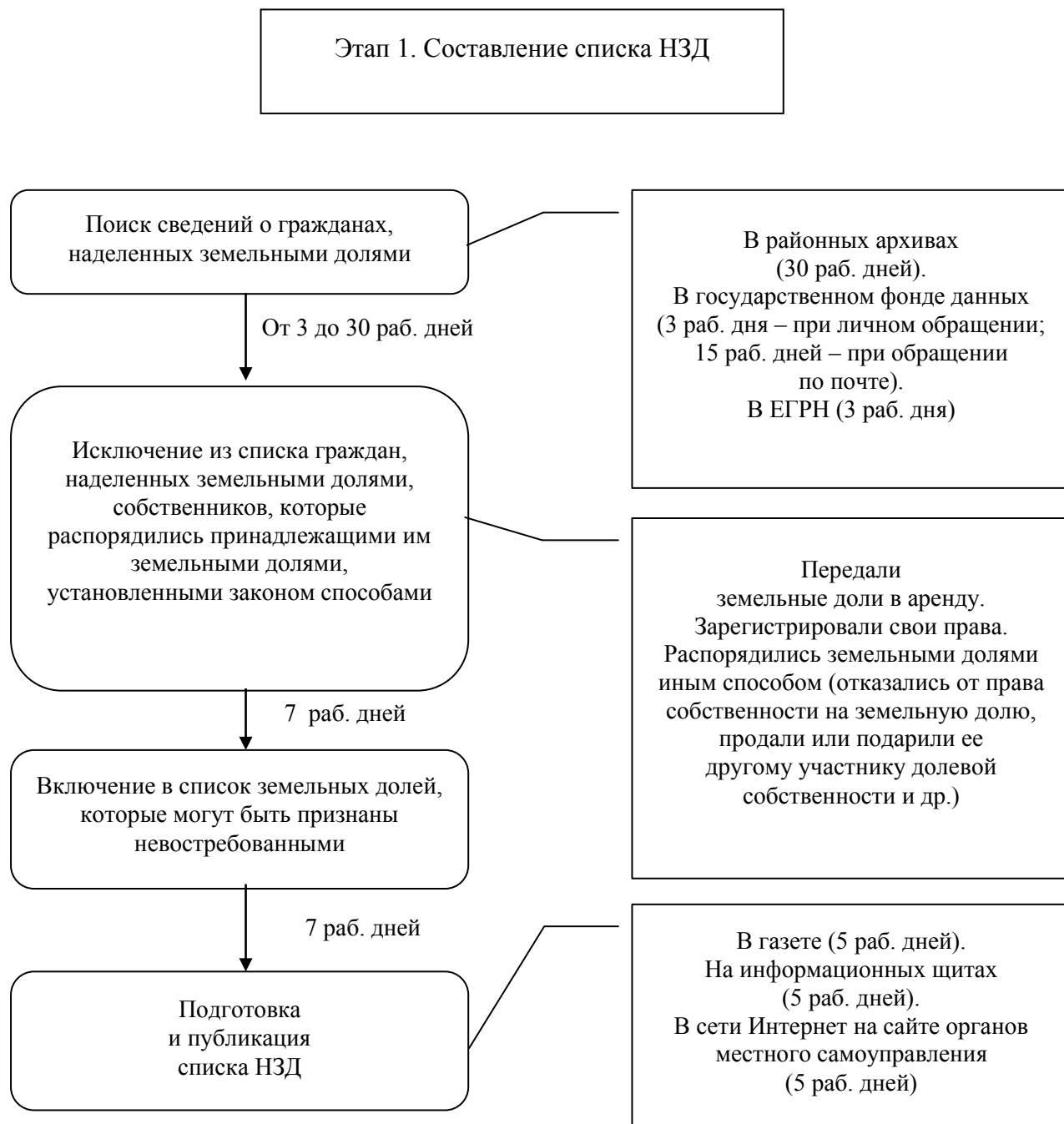


Рис. 1. Схема первого этапа подготовки и внесения сведений в ЕГРН о выделенных НЗД

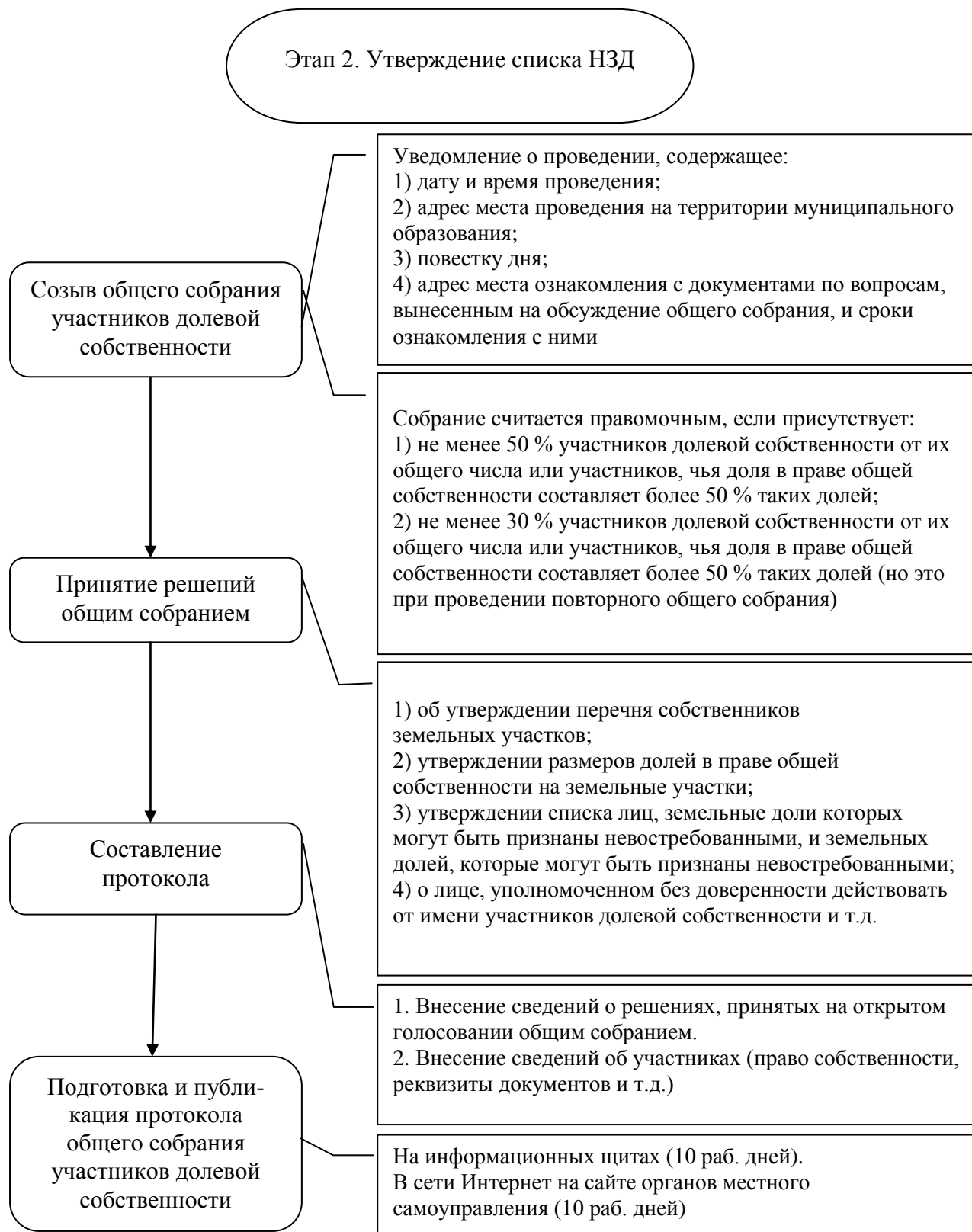


Рис. 2. Схема второго этапа подготовки и внесения сведений в ЕГРН о выделенных НЗД

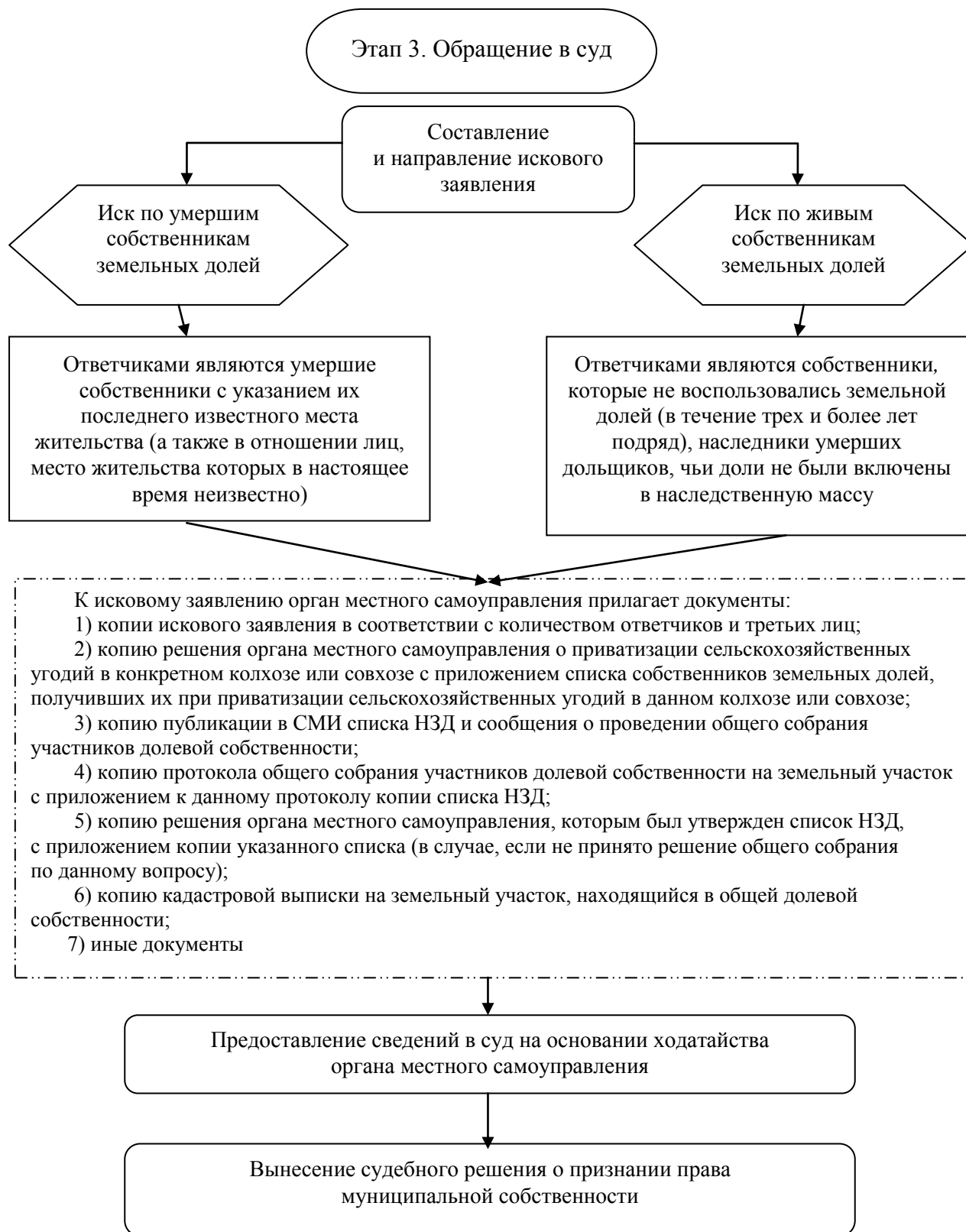


Рис. 3. Схема третьего этапа подготовки  
и внесения сведений в ЕГРН о выделенных НЗД

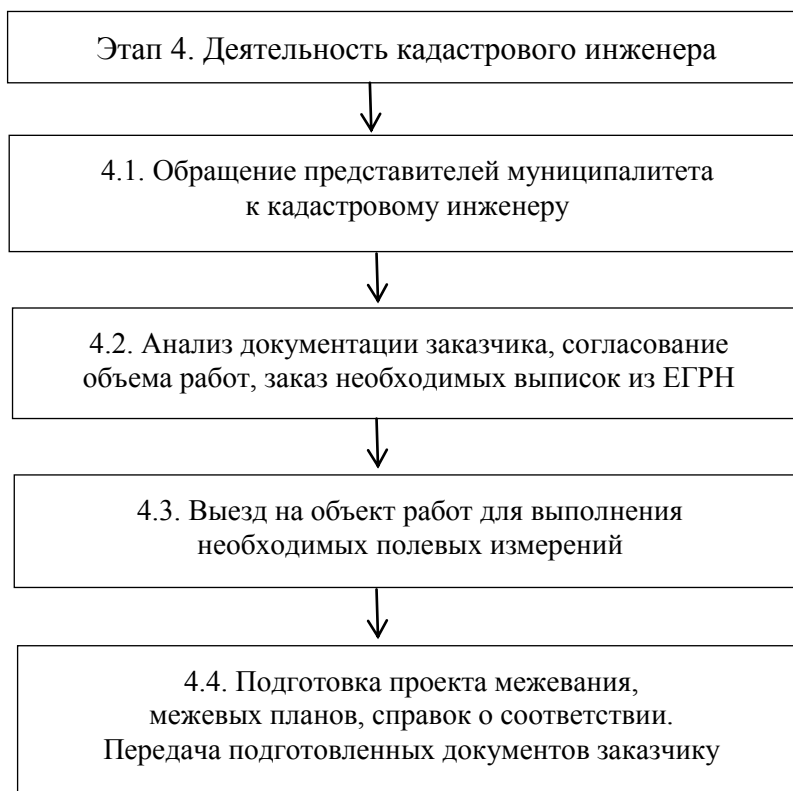


Рис. 4. Схема четвертого этапа подготовки и внесения сведений в ЕГРН о выделенных НЗД

Пятый этап протекает при взаимодействии заявителя с органом кадастрового учета и регистрации права (рис. 5).

Список НЗД составляет орган местного самоуправления сельского поселения или городского округа по месторасположению земельных участков, находящихся в общей долевой собственности. На основании всех полученных сведений о лицах, земельные доли которых могут быть признаны не востребованными, и списка земельных долей, которые могут быть признаны не востребованными, орган местного самоуправления готовит список НЗД к публикации. Он должен быть опубликован в СМИ данного субъекта Российской Федерации, на соответствующих официальных сайтах в сети Интернет не менее чем за 40 дней до созыва общего собрания участников общей долевой собственности.

Согласно ст. 14.1 Федерального закона № 101-ФЗ, «общее собрание считается правомочным в случае присутствия на нем участников долевой собственности, составляющих не менее чем 50 % от их общего числа или, если способ указания размера земельной доли допускает сопоставление долей в праве общей собственности на земельный участок, владеющих более чем 50 % таких долей» [2].

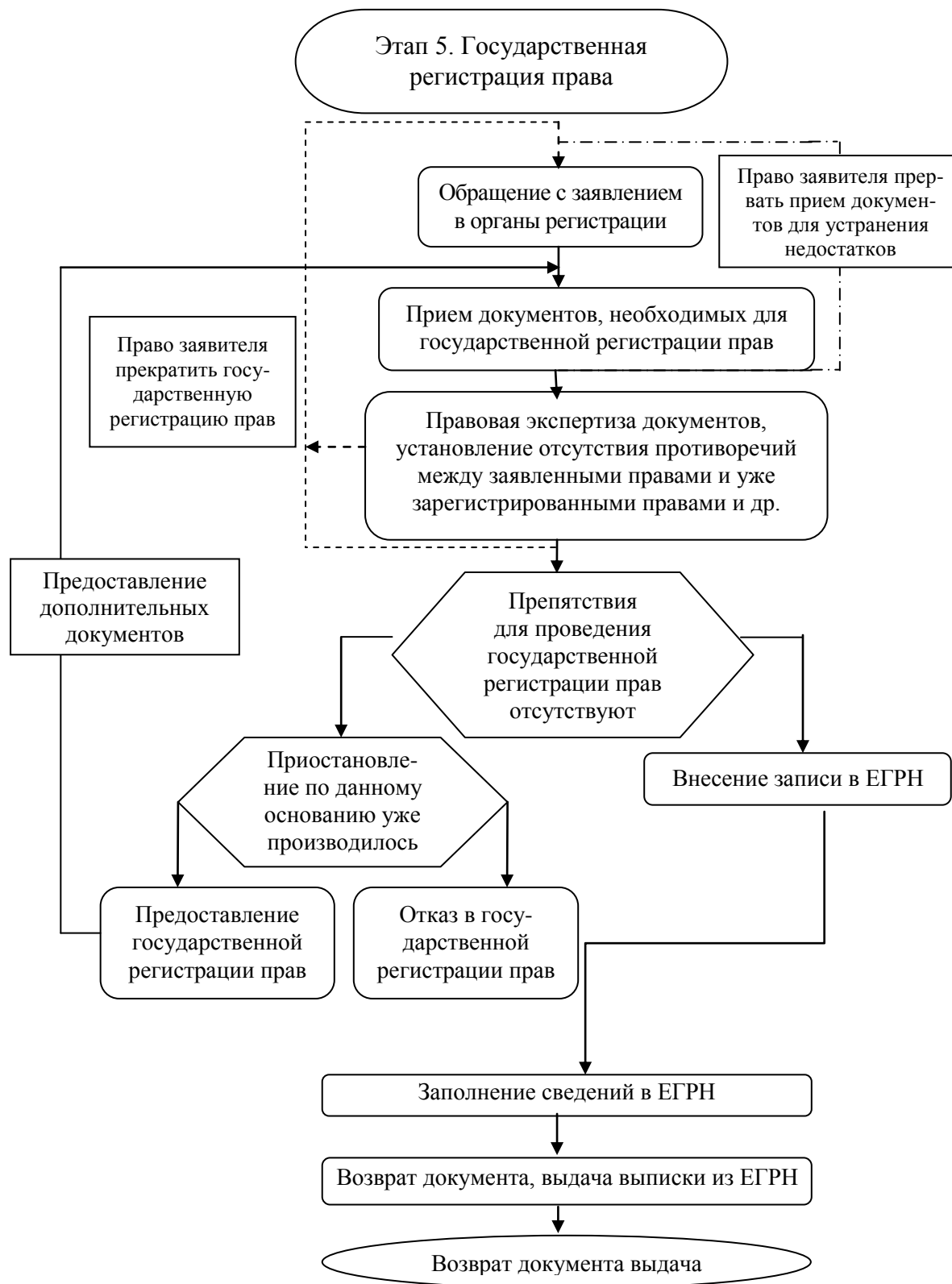


Рис. 5. Схема пятого этапа подготовки и внесения сведений в ЕГРН о выделенных НЗД



На общем собрании выносятся вопросы:

- 1) о предложениях относительно проекта межевания земельных участков;
- 2) лице, уполномоченном от имени участников долевой собственности без доверенности действовать от имени участников долевой собственности;
- 3) заключении, об отказе и изменении условий соглашения об изъятии недвижимого имущества для государственных или муниципальных нужд.
- 4) об утверждении проекта межевания земельных участков;
- 5) утверждении перечня собственников земельных участков;
- 6) утверждении размеров долей в праве общей собственности на земельные участки;
- 7) утверждении списка лиц, земельные доли которых могут быть признаны не востребованными, и земельных долей, которые могут быть признаны не востребованными;
- 8) утверждении расчета размера долей в праве общей собственности на земельный участок в целях их выражения единым способом, если ранее данные доли были выражены разными способами;
- 9) условиях договора аренды земельного участка;
- 10) условиях установления частного сервитута;

Принятое общим собранием решение оформляется протоколом. В нем ставятся подписи присутствующих на собрании председателя, секретаря общего собрания, уполномоченного должностного лица органа местного самоуправления или городского округа. С этого момента доли, сведения о которых включены в список, признаются не востребованными. Органом местного самоуправления протокол для ознакомления размещается на официальном сайте в сети Интернет, на информационных щитах.

После утверждения списка НЗД орган местного самоуправления направляет исковое заявление о признании права муниципальной собственности на земельные доли, вошедшие в указанный список, в районный суд по месту нахождения земельного участка.

Каждый субъект в Российской Федерации стремится к использованию своего права на изъятие безхозных земель НЗД для введения их в рыночный оборот муниципального образования. Сама процедура выдела земельных долей, признанных не востребованными, является долговременной, но всегда имеет логическое завершение – выдел в муниципальную собственность НЗД.

В качестве примера сложности и длительности процедуры передачи НЗД в муниципальную собственность приведем завершившуюся процедуру оформления НЗД в администрации Сандовского муниципального округа Тверской области (на момент оформления – Топоровское сельское поселение Сандовского района Тверской области).

Администрация своим Постановлением от 02.09.2019 № 38 утвердила список НЗД площадью 1 565,5 га, расположенных на территории по адресу: Тверская область, Сандовский район, Старосандовское сельское поселение (в границах колхоза «Рассвет»). Судом 13 января 2020 года были удовлетворены искивые требования Администрации Топоровского сельского поселения Сандовского района Тверской области, связанные с признанием права муниципальной собственности на НЗД в границах колхоза «Рассвет», которыми собственники не распорядились. Подготовка межевых планов на тринадцать образуемых земельных участков, выделяемых в счет НЗД, была начата 10 мая 2020 года и закончена 20 июня того же года. Процедура постановки на кадастровый учет и регистрации права на вновь образованные земельные участки затянулась

на 10 месяцев из-за полученных двух решений о приостановках, частично связанных с болезнью регистратора.

Причины, указанные в уведомлениях о приостановлении, сводились к следующему:

1. Образуемые земельные участки не проходили проверку топологической корректности. Эти проблемы были устранены кадастровым инженером при перепроверке координат образуемых земельных участков.

2. Пересечение границ образуемых земельных участков с земельными участками, сведения о границах которых уже имелись в ЕГРН. При этом данные пересечения определялись с точностью проверки, превышающей нормативную точность определения земель сельскохозяйственного назначения. В таких условиях корректировать границы образуемых земельных участков на практике бывает проблематично, так как подобные пересечения границ весьма незначительны.

3. Не были приложены документы, подтверждающие передачу полномочий (или правопреемство) администрации Сандовского района собственником земельных долей. Дело в том, что как раз в этот период происходило преобразование муниципальных образований Сандовского района (в том числе Топоровского сельского поселения) путем объединения в Сандовский муниципальный округ [4].

4. Имелись замечания к указываемому адресу образуемых земельных участков. Сведения об адресе, по мнению регистратора, должны включаться в состав межевого плана в структурированном виде в соответствии с Федеральной информационной адресной системой (ФИАС), осуществляющей ведение государственного адресного реестра. На момент подготовки документов для образуемых земельных участков сведения об адресе в ФИАС не содержались.

Успешная постановка на государственный кадастровый учет и государственная регистрация прав состоялась только 16 апреля 2021 года.

В апреле 2019 года в Государственную Думу был внесен законопроект № 685804-7 «О внесении изменений в статью 12-1 Федерального закона “Об обороте земель сельскохозяйственного назначения”» [5], которым предусматривался внесудебный порядок признания земельных долей не востребованными. Исключение этапа вынесения судебного решения о признании права муниципальной собственности, по мнению авторов законопроекта, позволит сократить сроки процедуры и вернуть в оборот десятки миллионов земель сельскохозяйственного назначения. При этом орган управления муниципального образования будет организовывать проведение землеустроительных работ по формированию земельных участков из НЗД сельскохозяйственного назначения для постановки их на кадастровый учет.

В октябре 2019 года Правительство Российской Федерации не поддержало законопроект, найдя в нем противоречия нескольким существующим федеральным законам [6]. Тем не менее в октябре 2021 года он был включен в перечень законопроектов, предлагаемых комитетами Государственной Думы седьмого созыва к рассмотрению в первом чтении Государственной Думой в период осенней сессии 2021 года.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сведения о земельных участках, находящихся в частной собственности: Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2019 году. URL: <https://rosreestr.gov.ru/press/archive/> (дата обращения: 29.09.2021).

2. Об обороте земель сельскохозяйственного назначения: Федер. закон от 24.07.2002 № 101 // КонсультантПлюс: справочно-правовая система. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_37816/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37816/) (дата обращения: 29.05.2021).
3. Атаманов С.А., Григорьев С.А. Методика оперативной организации полевых работ при кадастровой деятельности // *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. 2020. № 4. С. 435–440. DOI: 10.30533/0536-101X-2020-64-4-435-440
4. О преобразовании муниципальных образований, входящих в состав территории муниципального образования Тверской области Сандовский муниципальный район, путем объединения поселений и создании вновь образованного муниципального образования с наделением его статусом муниципального округа и внесении изменений в отдельные законы Тверской области: закон Тверской области от 23.04.2020 № 21-30. URL: <https://docs.cntd.ru/document/570775304> (дата обращения: 25.11.2021).
5. О внесении изменений в статью 12 Федерального закона «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения». URL: [https://sozd.duma.gov.ru/bill/685804-7#bh\\_comments](https://sozd.duma.gov.ru/bill/685804-7#bh_comments) (дата обращения: 29.10.2021).
6. Официальный отзыв Правительства Российской Федерации на проект федерального закона № 685804-7 «О внесении изменений в статью 121 Федерального закона “Об обороте земель сельскохозяйственного назначения”», внесенный депутатами Государственной Думы Г.В. Куликом, В.Н. Плотниковым, А.Н. Хайруллиным и другими. URL: [https://sozd.duma.gov.ru/bill/685804-7#bh\\_histras](https://sozd.duma.gov.ru/bill/685804-7#bh_histras) (дата обращения: 09.11.2021).

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

*СТЕПАНОВА Людмила Александровна* – кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии и кадастра, Тверской государственной технической университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: [lusi\\_st@mail.ru](mailto:lusi_st@mail.ru)

*ЛАЗАРЕВ Олег Евгеньевич* – старший преподаватель, Тверской государственной технической университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: [Lazarev\\_tvgu@mail.ru](mailto:Lazarev_tvgu@mail.ru)

*БОБРОВА Наталья Михайловна* – магистрант, Тверской государственной технической университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: [bonat937@yandex.ru](mailto:bonat937@yandex.ru)

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Степанова Л.А., Лазарев О.Е., Боброва Н.М. Выдел не востребовавшихся земельных долей из земель общей долевой собственности // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2022. № 4 (16). С. 25–37.

---

#### DIVISION OF UNCLAIMED LAND SHARES FROM COMMON SHARED PROPERTY LAND

*L.A. Stepanova, O.E. Lazarev, N.M. Bobrova*  
*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** Each subject of the Russian Federation is interested in including unclaimed land shares in civil circulation, primarily because of the increase in land tax. The article considers the process of registration of unclaimed land shares, which in practice turns out to be difficult and

problematic. The passage of state cadastral registration and state registration of rights in the Unified State Register of Real Estate according to the documents prepared by the cadastral engineer is also a rather lengthy process. This process is accompanied by suspensions that occur at the decision of the state registrar due to numerous reasons.

**Keywords:** land plot, unclaimed land share, municipal property, land survey project, land survey plan, state cadastral registration, registration of rights, Rosreestr.

#### REFERENCES

1. Information about privately owned land plots: State (national) report «On the state and use of land in the Russian Federation in 2019». URL: <https://rosreestr.gov.ru/press/archive/> (date of access: 29.09.2021).
2. On the turnover of agricultural land: Federal Law of July 24, 2002 No. 101-FZ // Consultant-Plus: reference and legal system. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_37816/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37816/) (date of access: 29.05.2021).
3. Atamanov S.A., Grigoriev S.A. Methodology for the operational organization of field work in cadastral activities. *Izv. universities. Geodesy and aerial photography*. 2020. No. 4, pp. 435–440. DOI: 10.30533 / 0536-101X-2020-64-4-435-440
4. On the transformation of municipalities that are part of the territory of the municipal formation of the Tver region Sandovsky municipal district, by combining settlements and the creation of a newly formed municipal formation with the endowment of it with the status of a municipal district and amendments into individual laws of the Tver region: Law of the Tver region of April 23, 2020 № 21-ZO. URL: <https://docs.cntd.ru/document/570775304> (date of access: 25.11.2021).
5. On amendments to article 121 of the Federal Law «On the turnover of agricultural land». URL: [https://sozd.duma.gov.ru/bill/685804-7#bh\\_comments](https://sozd.duma.gov.ru/bill/685804-7#bh_comments) (date of access: 29.10.2021).
6. The official response of the Government of the Russian Federation to the draft federal law No. 685804-7 «On Amendments to Article 121 of the Federal Law» on the Turnover of Agricultural Lands, introduced by the deputies of the State Duma G.V. Kulik, V.N. Plotnikov, A.N. Khairullin and others. URL: [https://sozd.duma.gov.ru/bill/685804-7#bh\\_histras](https://sozd.duma.gov.ru/bill/685804-7#bh_histras) (date of access: 11.09.2021).

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*STEPANOVA Lyudmila Aleksandrovna* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Geodesy and Cadastre, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: [lusi\\_st@mail.ru](mailto:lusi_st@mail.ru)

*LAZAREV Oleg Evgenievich* – Senior Lecturer, Department of Geodesy and Cadastre, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: [Lazarev\\_tvgu@mail.ru](mailto:Lazarev_tvgu@mail.ru)

*BOBROVA Natalia Mikhailovna* – Master's Student, Department of Geodesy and Cadastre, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: [bonat937@yandex.ru](mailto:bonat937@yandex.ru)

**CITATION FOR AN ARTICLE**

Stepanova L.A., Lazarev O.E., Bobrova N.M. Division of unclaimed land shares from common shared property land // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2022. No. 4 (16), pp. 25–37.

УДК 624.131.5

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ  
ДОРОЖНЫХ И АЭРОДРОМНЫХ ПЛИТ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ**

*В.И. Трофимов*

*Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*

© Трофимов В.И., 2022

**Аннотация.** В статье дан анализ применяемых способов армирования бетона для повышения эффективности работы дорожных и аэродромных плит в случае их использования в сложных природно-климатических условиях строительства. Предложено для усиления дорожной бетонной плиты выполнять комбинированное армирование (непрерывное и дисперсное) полимерными композитными сетками различной длины. Приведены результаты испытаний модельных образцов, армированных непрерывными сетками и микросетками, которые доказывают эффективность предложенного метода повышения эксплуатационной надежности работы дорожных и аэродромных плит.

**Ключевые слова:** дорожная плита, прочность, строительство, непрерывное и дисперсное армирование.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2022-4-37-44**

В настоящее время актуальным направлением получения высококачественных бетонов, отличающихся более широким спектром функциональных возможностей, является применение метода армирования с использованием непрерывных армирующих элементов и дисперсных волокон. Этот метод может быть использован в производстве дорожных и аэродромных плит с повышенной эксплуатационной надежностью. Такие дорожные и аэродромные плиты особенно востребованы в транспортном строительстве на Севере, отличающемся суровыми природно-климатическими условиями. Здесь ведется интенсивное обустройство стратегически важных для нашей страны нефтегазовых месторождений [1, 2].

Вопросами повышения несущей способности бетонных конструкций, улучшения физико-механических свойств бетонной матрицы с применением метода армирования занимались многие отечественные ученые: Г.И. Бердичевский, И.В. Волков, Ф.А. Гофштейн, К.М. Королев, О.В. Коротышевский, Л.Г. Курбатов, И.А. Лобанов, Ф.Н. Рабинович, В.П. Романов, К.В. Талантовой, Г.К. Хайдуков, Г.А. Шикунев, В.В. Шугаев, Ф.Ц. Янкелович и др. Выполненные ими исследования показали, в частности, что дисперсное армирование повышает сопротивляемость нагрузкам, особенно в слабых местах (растянутых и изгибаемых элементах конструкций). При этом

повышаются трещиностойкость, износостойкость, ударная вязкость и другие важные физико-механические показатели бетона. Особенно важно использовать преимущества метода дисперсного армирования бетонной матрицы при строительстве дорог и аэродромов в Арктической зоне [3].

Одним из перспективных, но малоизученных вопросов является комплексное применение различной сетчатой арматуры, будь то стальные арматурные каркасы, полимеркомпозитные сетки в виде лент и полотен или микроволокна и микросетки.

Полученные на данный момент положительные результаты исследований использования полимеркомпозитных материалов и изделий свидетельствуют о наличии ряда преимуществ перед обычным бетоном и железобетоном.

Различают следующие виды армирования бетона в зависимости от назначения изделия, его работы и конструкции: непрерывное, дисперсное, слоистое и объемное, а также напряженное и в виде полиармирования.

Для непрерывного армирования используют такие материалы, как стальные стержни, проволочные пакеты, пряди и канаты; полимеркомпозитные и полимерные сетки; текстильные полотна. При этом непрерывное армирование может быть реализовано в виде напряженной арматуры или с учетом полиармирования (например, при совместном использовании сетки и стержней).

Для дисперсного армирования применяют материалы в виде волокон: металлических; полимерных (полипропилен, полистирол и др.); полимеркомпозитных (стеклопластик, углепластик и др.); минеральных (стеклянные, базальтовые, асбестовые и др.); органических (опилки, костра и др.). Кроме этого, дисперсное армирование может быть реализовано в виде полиармирования с использованием фибры двух видов или различных размеров [4].

Слоистое армирование широко применяется в строительстве (дорожное полотно, защитные слои покрытия гидротехнических сооружений, многослойные стеновые изделия и др.) [5].

Объемное армирование также широко используется в монолитном строительстве (например, при использовании объемного каркаса, дисперсного армирования бетонной матрицы во всем объеме изделия и др.).

Непрерывный и дисперсный виды армирования бетонной матрицы обеспечивают двух- или трехмерное ее упрочнение, позволяют принципиально изменять свойства цементного камня, обеспечивая улучшенные физико-механические свойства (повышать трещиностойкость, особенно при действии ударных и динамических нагрузок, снижать абразивный износ, повышать водонепроницаемость, морозостойкость и т.д.) [6].

В последнее время широко применяются при ремонте и усилении строительных конструкций, в частности при укреплении фасадных штукатурных слоев, полимеркомпозитные сетки (например, на основе углепластика (рис. 1)) [7].



Рис. 1. Усиление наружного защитного слоя кирпичной кладки полимеркомпозитной сеткой

В качестве примера на рис. 2 показаны полимеркомпозитные, в частности стеклопластиковые, сетки для армирования бетона. Каждая из них имеет определенные преимущества в плане технических характеристик и может быть использована при решении конкретных практических задач улучшения эксплуатационных свойств бетонных изделий и конструкций [7].

Основной характеристикой стеклопластиковых сеток является разрывная нагрузка, которая составляет 750–2 000 Н/см (в зависимости от размера ячеек представленных сеток).

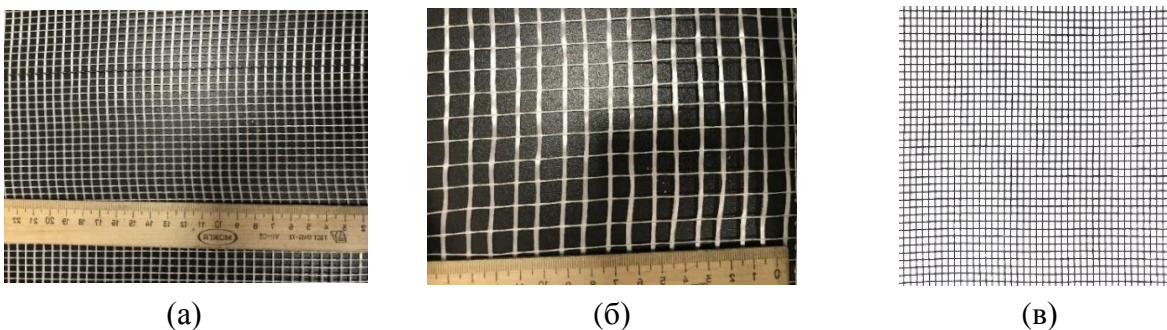


Рис. 2. Полимеркомпозитные стеклопластиковые сетки с размером ячеек: 5 мм (а); 10 мм (б); 1,5 мм (в)

Цель работы заключалась в том, чтобы доказать возможность улучшения структурно-механических свойств бетона для производства дорожных плит повышенной эксплуатационной надежности на основе комплексного использования методов непрерывного и дисперсного полиармирования бетонной матрицы полимеркомпозитными сетчатыми элементами.

На первом этапе исследований была решена задача по оценке влияния работы под нагрузкой непрерывной полимеркомпозитной сетки, установленной в бетоне с учетом размера ее отверстий [8].

Были выбраны четыре типа полимеркомпозитных, в частности стеклопластиковых, сеток, которые использовались для непрерывного армирования бетонной матрицы, с размером отверстий 1,5×1,5; 4×4; 5×5 мм соответственно.

В процессе формования образцов-балочек каждая непрерывная сетка закладывалась на 1/4 их высоты с целью повышения эффективности работы бетона на изгиб.

Анализ результатов предварительных испытаний показал, что при использовании полимеркомпозитной сетки с размером отверстий 1,5×1,5 мм для непрерывного армирования наблюдалось снижение прочности по сравнению с контрольными образцами без армирования. Это можно объяснить тем, что сетка имела очень маленькие размеры отверстий (1,5×1,5 мм), поэтому она практически не работала совместно с бетонной матрицей по длине балочки. Она усиливала только цементную компоненту, прочность которой ниже прочности композита – бетонной матрицы. При этом в месте ее заложения происходило частичное расслоение, т.е. сетка работала как гладкое полотно с недостаточной адгезией, на что также оказывало влияние реологическое состояние бетонной смеси. Таким образом, можно сделать вывод, что использовать мелкие сетки для непрерывного армирования бетонной матрицы необходимо в зависимости от размера (крупности) зерен мелкого заполнителя. В то же время на основе результатов испытаний было выявлено, что использование непрерывных сеток с большими размерами отверстий позволило сохранить целостность структуры бетонной матрицы, а также повысило ее прочностные характеристики. В связи с этим для дальнейших исследований была выбрана непрерывная сетка с размером отверстий 5×5 мм.

Следующий этап исследований заключался в определении оптимальной прочности на изгиб и сжатие в зависимости от процентного содержания фибры, используемой для дисперсного полиармирования в бетоне, в комплексе с полимеркомпозитной сеткой в случае использования ее как элемента непрерывного армирования с ранее выявленным оптимальным размером ячейки.

Сначала определялась зависимость прочности балочек на изгиб  $R_{изг}$ . Для дисперсного полиармирования использовались полимеркомпозитные микросетки с ячейками 1,5×1,5 мм двух разных размеров:  $l_1 = 10$  мм и  $l_2 = 5$  мм. Соотношение содержания микросеток с заданными размерами задавалось следующее:  $l_1 : l_2 = 70 : 30$ .

В качестве элемента непрерывного армирования применялась полимеркомпозитная сетка с размером отверстий 5×5 мм, шириной 40 мм и длиной 160 мм, выбранная на основе предыдущих исследований. Данный фактор являлся постоянным для каждого из последующих опытов. Это позволило оценить эффективность совместного применения полимеркомпозитных сеток для непрерывного армирования и полимеркомпозитных микросеток для дисперсного полиармирования.

Было проведено по четыре опыта. Для каждого были заформованы по три образца-балочки размером 40×40×160 мм с процентным содержанием  $A$ , равным 0; 2; 4; 6 %.

Из графика зависимости  $R_{изг} = f(A)$  (рис. 3) видно, что наибольшая прочность при изгибе  $R_{изг}$  соответствует 8,16 МПа для образцов с  $A = 4$  %. Рост прочности на изгиб наблюдается при внедрении микросеток вплоть до 4 %, после чего начинает происходить снижение прочности бетонных образцов.



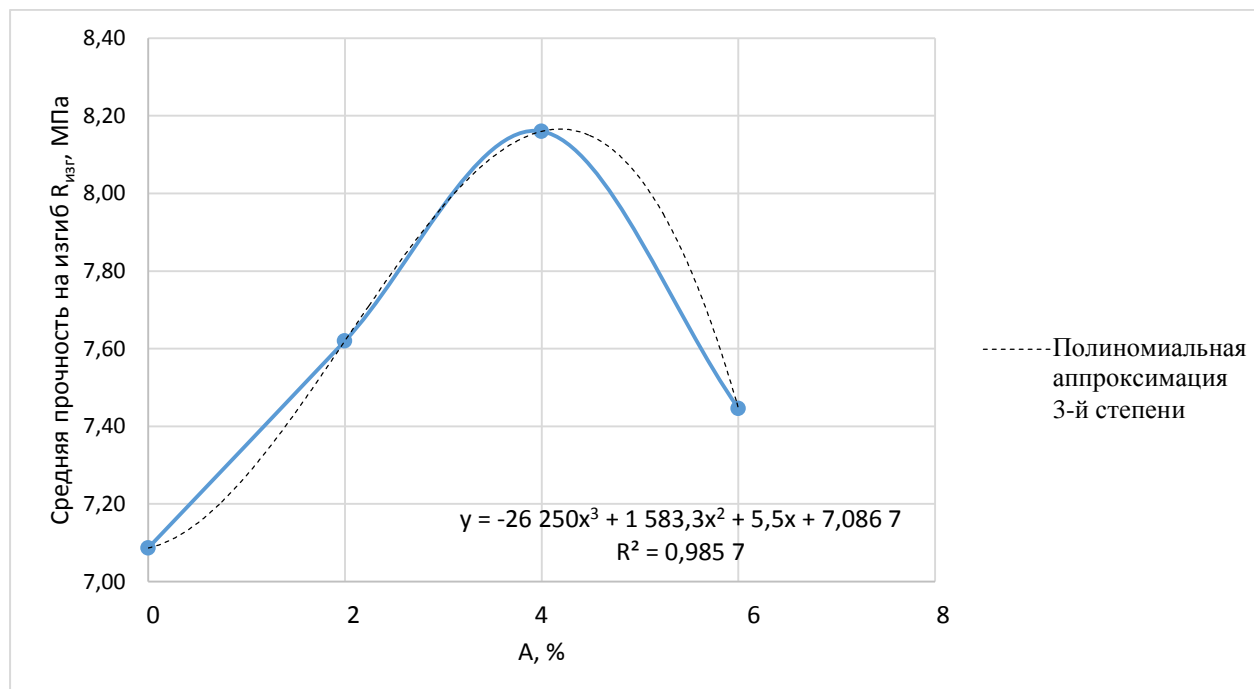


Рис. 3. Результаты испытаний образцов-балочек на изгиб с учетом комбинированного армирования

В результате аппроксимации экспериментальной зависимости  $R_{изг} = f(A)$  была получена математическая модель в виде уравнения регрессии. Для нахождения уравнения применена полиномиальная аппроксимация 3-й степени с уровнем достоверности 0,9857.

Далее была выявлена зависимость прочности на сжатие  $R_{сж}$  бетонных кубиков от процентного содержания микроотверстий с учетом полиармирования и совместного непрерывного армирования полимеркомпозитной сеткой.

Все постоянные факторы оставались без изменений. Для дисперсного полиармирования использовались полимеркомпозитные микроотверстия с размером отверстий  $1,5 \times 1,5$  мм двух разных размеров:  $l_1 = 10$  мм и  $l_2 = 5$  мм. Соотношение содержания микроотверстий с заданными размерами в бетоне осталось прежним:  $l_1 : l_2 = 70 : 30$ . В качестве элемента непрерывного армирования применялась полимеркомпозитная сетка с размером отверстий  $5 \times 5$  мм.

Было проведено по четыре опыта, и для каждого были заформованы по три образца-кубика размером  $70 \times 70 \times 70$  мм при процентном содержании  $A$  двух видов микроотверстий, равном 0; 2; 4; 6 %.

Были получены результаты испытаний образцов-кубиков. Они представлены в виде графической зависимости на рис. 4.

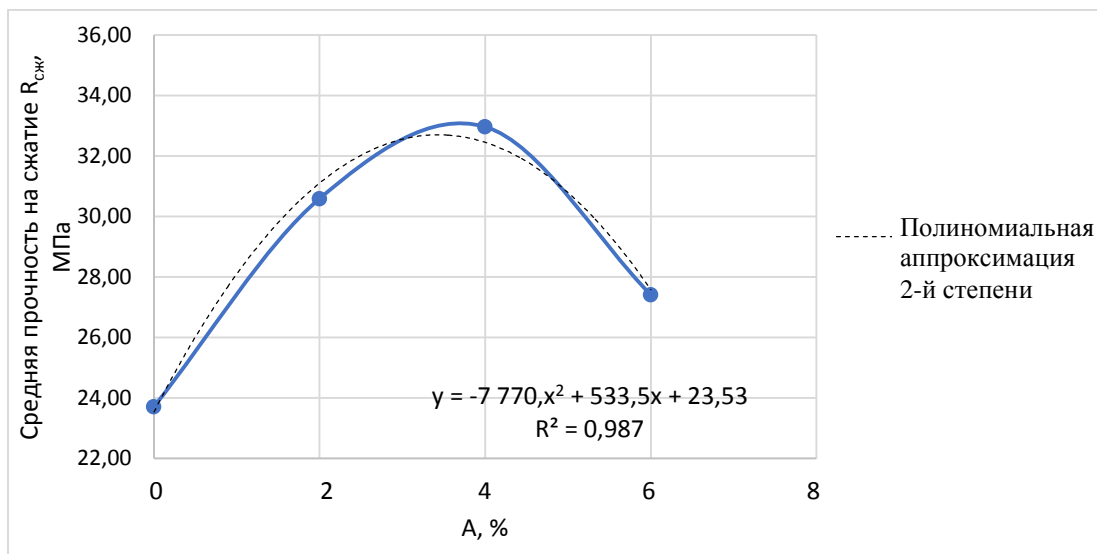


Рис. 4. Результаты испытаний образцов-кубиков на сжатие с учетом комбинированного армирования

Из графика зависимости прочности на сжатие  $R_{сж}$  от процентного содержания  $A$  дисперсного полиармирования полимеркомпозитной фиброй в виде микросеток видно, что наибольшая прочность ( $R_{сж} = 32,96$  МПа) наблюдается у образцов с  $A = 4$  %. Она превышает  $R_{сж}$  контрольных образцов ( $A = 0$ ) на 39,0 % ( $R_{изг} = 23,71$  МПа). Рост прочности наблюдается при внедрении микросеток вплоть до 4 %, после чего происходит снижение прочности армированных образцов.

### ВЫВОДЫ

В результате проведенных испытаний была доказана эффективность использования полимеркомпозитных микросеток разных размеров для дисперсного полиармирования бетонной матрицы совместно с непрерывной полимеркомпозитной сеткой с целью повышения показателей прочности на изгиб  $R_{изг}$  и сжатие  $R_{сж}$ .

Выявлено оптимальное процентное содержание полимеркомпозитных микросеток ( $A = 4$  %) в мелкозернистом бетоне. Для исследованных образцов-балочек была получена прочность на изгиб  $R_{изг} = 8,16$  МПа, которая превышает  $R_{изг}$  контрольных образцов ( $A = 0$ ) на 10,1 % ( $R_{изг} = 7,41$  МПа). Для образцов-кубиков была получена прочность на сжатие  $R_{сж} = 32,96$  МПа, которая также превышает  $R_{сж}$  контрольных образцов ( $A = 0$ ) на 39,0 % ( $R_{изг} = 23,71$  МПа). При этом во всех случаях использовалась непрерывная полимеркомпозитная сетка с выявленным оптимальным размером отверстий  $5 \times 5$  мм.

Согласно данным, полученным по результатам экспериментов, методика регулирования структурно-механических свойств мелкозернистого фибробетона на основе применения особым образом метода полиармирования бетона полимеркомпозитными микросетками в комплексе с применением непрерывной полимеркомпозитной сетки позволяет повысить эксплуатационную надежность работы дорожных и аэродромных плит на Севере при сложной работе бетона в области сжимающих и растягивающих деформаций, а также частично или полностью отказаться от использования стальной арматуры.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Луцкий С.Я., Шепитько Т.В., Токарев П.М., Дудников А.Н. Строительство путей сообщения на Севере. М.: ЛАТМЭС. 2009. 286 с.
2. Ремнев В.В. Арктическая зона России: перспективы применения новых материалов и технологий для строительства аэродромов и автомобильных дорог // *Транспортная стратегия – XXI век*. 2013. № 23 (4). С. 40–42.
3. Перепечко С.А. Фибробетон и его использование в северных регионах России // *Молодой ученый*. 2017. № 2 (136). С. 185–187.
4. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. М.: АСВ. 2004. 560 с.
5. Трофимов В.И., Егоров А.Р., Хитрич Г.А. Сборные дорожные плиты для Арктических зон // *Научный вестник Арктики*. 2022. № 12. С. 51–56.
6. Лесовик Р.В., Агеева М.С., Клюев С.В., Лесовик Г.А., Сопин Д.М. Разработка методологии проектирования мелкозернистых фибро-текстиль бетонов на техногенных песках Белгородской области. *Региональная научно-техническая конференция по итогам конкурса ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам: Материалы научно-технической конференции*. Белгород: БГТУ им. В.В. Шухова. 2015. С. 227–241.
7. Смирнова О.М., Шибанов М.Д., Черенко А.В. Влияние водоцементного отношения цементного камня на свойства текстиль-армированного бетона. *Инновации в строительстве-2017: Материалы Международной научно-практической конференции*. Брянск: БГИТУ. 2017. Т. 1. С. 132–136.
8. Сиявский А.С., Трофимов В.И. К вопросу повышения долговечности работы цементобетонных дорог в Арктических зонах. *Строительство и землеустройство: проблемы и перспективы развития: Материалы Всероссийской научно-практической конференции*. Тверь: ТвГТУ. 2019. С. 126–131.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ**

*ТРОФИМОВ Валерий Иванович* – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, Тверской государственной технической университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: vitrofa@mail.ru

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА**

Трофимов В.И. Повышение эффективности работы дорожных и аэродромных плит в Арктической зоне // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2022. № 4 (16). С. 37–44.

---

**INCREASING THE EFFICIENCY  
OF ROAD AND AIRFIELDS IN THE ARCTIC ZONE**

*V.I. Trofimov*

*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** The article has an analysis of the used concrete reinforcement methods to increase the efficiency of road and airfields in case of use in complex natural-climatic construction conditions. It is proposed to perform combined reinforcement to strengthen the road

concrete slab – continuous and dispersed polymer composite nets of various lengths. The results of the testing of model samples reinforced with continuous grids and microdots are given, which prove the effectiveness of the proposed method of increasing the operational reliability of road and airfields.

**Keywords:** road stove, strength, construction, continuous and dispersed reinforcement.

#### REFERENCES

1. Lutsky S.Ya., Shepitko T.V., Tokarev P.M., Dudnikov A.N. *Stroitel'stvo putej soobshcheniya na Severe* [Construction of communication routes in the North]. M.: LATMES. 2009. 286 p.
2. Remnev V.V. Arctic zone of Russia: prospects for the use of new materials and technologies for the construction of airfields and highways. *Transportnaya strategiya – XXI vek*. 2013. No. 23 (4), pp. 40–42. (In Russian).
3. Perepechko S.A. Fibroconcrete and its use in the northern regions of Russia. *Molodoj uchenyj*. 2017. No. 2 (136), pp. 185–187. (In Russian).
4. Rabinovich F.N. *Kompozity na osnove dispersno armirovannyh betonov. Voprosy teorii i proektirovaniya, tekhnologiya, konstrukcii* [Composites based on dispersed reinforced concrete. Theory and design issues, technology, constructions]. M.: ACB. 2004. 560 p.
5. Trofimov V.I., Egorov A.R., Khitrich G.A. Prefabricated road slabs for Arctic zones. *Nauchnyj vestnik Arktiki*. 2022. No. 12, pp. 51–56. (In Russian).
6. Lesovik R.V., Ageeva M.S., Klyuev S.V., Lesovik G.A., Sopin D.M. Development of a methodology for designing fine-grained fiber-textile concrete on technogenic sands of the Belgorod region. *Regional scientific and technical conference on the results of the competition of oriented fundamental research on interdisciplinary topics: Materials of scientific and technical Conference*. Belgorod: BSTU named after V.V. Shukhov. 2015, pp. 227–241. (In Russian).
7. Smirnova O.M., Shibanov M.D., Chernenko A.V. The influence of the water-cement ratio of cement stone on the properties of textile-reinforced concrete. *Innovations in construction-2017: Materials of the International Scientific and Practical Conference*. Bryansk: BSETU. 2017. Vol. 1, pp. 132–136. (In Russian).
8. Sinyavsky A.S., Trofimov V.I. On the issue of increasing the durability of cement concrete roads in the Arctic zones. *Construction and Land Management: problems and prospects of development: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Tver: TvSTU. 2019, pp. 126–131. (In Russian).

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

*TROFIMOV Valery Ivanovich* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vitrofa@mail.ru

#### CITATION FOR AN ARTICLE

Trofimov V.I. Increasing the efficiency of road and airfields in the Arctic zone // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2022. No. 4 (16), pp. 37–44.

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

УДК 006.915 + 621.311

**ПРОБЛЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ  
ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ***Н.И. Иванова, А.Д. Дементьев, Г.Г. Валиева**Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*© Иванова Н.И., Дементьев А.Д.,  
Валиева Г.Г., 2022

**Аннотация.** В статье исследованы основные проблемы метрологического обеспечения такого метода неразрушающей диагностики состояния воздушных линий электропередач, как тепловизионный контроль. Приведена информация о классификации и приборах, зафиксированных в нормативно-технологической документации и используемых в тепловизионной диагностике. Рассмотрены основные аспекты метрологического обеспечения тепловизионной техники. Представлены пути решения обозначенных проблем.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередач, методы дистанционного контроля, тепловизионный контроль, метрологическое обеспечение.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2022-4-45-50****ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время на территории Российской Федерации передача электроэнергии от производителя к потребителю осуществляется в основном воздушным путем при помощи воздушных линий электропередач (ВЛЭП). Основными составляющими ВЛЭП являются неизолированные проводники электрического тока (провода), прикрепленные к опорам или инженерным конструкциям с помощью арматуры, изоляторов и траверс. Обязательными составляющими ВЛЭП, необходимыми для работы линий и бесперебойной передачи электроэнергии, выступают грозозащитные тросы, заземление и разрядники.

Одна из главных проблем использования ВЛЭП – высокие потери электроэнергии, которые возникают как на преобразователях, так и на проводных линиях [1]. Подобные потери связаны с работой и характеристиками электрооборудования, свойствами и материалом проводников электроэнергии, а также с неблагоприятными погодными условиями и неисправностью компонентов сетей. В связи с этим контроль состояния ЛЭП является одной из наиболее острых проблем сетевых компаний, занимающихся поставками электроэнергии.

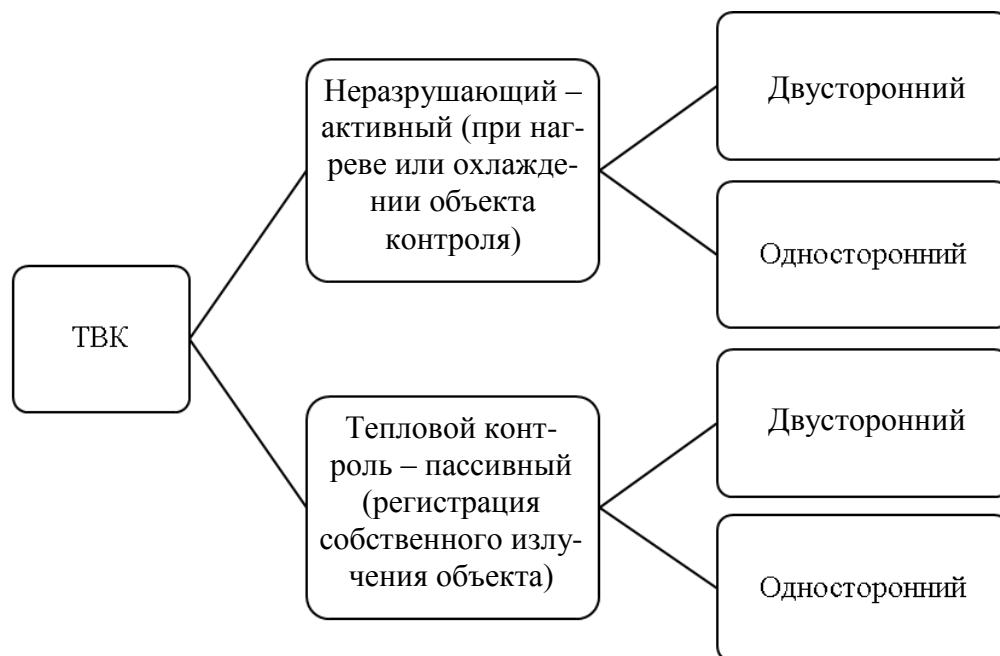
### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На сегодняшний день контроль исправности ВЛЭП осуществляется в основном визуально персоналом электросетевых компаний. Большое влияние субъективного (человеческого) фактора при сборе, обработке и хранении информации, высокая трудоемкость и затраты времени, а также сложностодоступность некоторых участков ВЛЭП для осмотра создают необходимость разработки различных методов дистанционного контроля [2]. К таким методам относят лазерное сканирование, аэрофотосъемку, спутниковый мониторинг, телеметрический контроль, осциллографирование и т.д.

Одним из наиболее эффективных методов контроля и обследования электрооборудования считается тепловизионный контроль (ТВК). Данный метод отличается высокой скоростью проведения измерений, простотой оборудования и исполнения измерений, высокой доступностью и дешевизной средств измерения. Основным достоинством ТВК является отсутствие необходимости отключения электроэнергии при проведении измерений.

Нарушение целостности или неисправность в ВЛЭП приводят к росту сопротивления проводника, что, в свою очередь, приводит к изменению его температуры. Тепловизионный контроль основан на сравнении температур различных участков поверхности аппаратов, работающих в одинаковых условиях нагрева и охлаждения. Принцип действия тепловизионной техники заключается в преобразовании излучения инфракрасного диапазона в видимый диапазон длин волн излучения.

Методы ТВК можно разделить на несколько групп (рисунок).



Классификация методов ТВК

Основным средством измерения в ТВК являются тепловизоры, в некоторых случаях могут использоваться пирометры. Помимо тепловизора, для правильного измерения и достоверной оценки состояния контролируемого объекта применяется дополнительная измерительная техника: термогигрометры, анемометры, контактные термометры, лазерные

дальномеры и т.д. Использование тепловизионной диагностики для контроля электрооборудования регламентируется СТО 34.01-23.1-001-2017 [3], а также РД 153-34.0-20.363-99 [4].

Большое разнообразие типов средств контроля при тепловизионной диагностике, влияние погодных условий, расстояние до объекта диагностики, тип материала проводника и другие факторы приводят к тому, что оценка правильности и достоверности результатов диагностики затрудняется. Таким образом, метрологическое обеспечение средств тепловизионной диагностики является актуальным и значимым вопросом [5].

Для корректной диагностики состояния ВЛЭП используемые средства контроля требуют периодического осмотра и поверки. Применяемые приборы должны быть исправны, их метрологические характеристики должны соответствовать требованиям, регламентируемым Федеральным законом № 102-ФЗ [6] и ГОСТ Р 8.619-2006 [7]. Важную роль играет погрешность средств диагностики. Современные тепловизоры имеют погрешность измерения не более  $\pm 2$  °С в диапазоне температур от  $-50$  до  $200$  °С и  $\pm 0,02 \cdot t_{\text{изм}}$  (где  $t_{\text{изм}}$  – измеренное значение температуры) при температурах выше  $200$  °С. Ряд моделей имеют более высокую точность измерений, и погрешность этих приборов не превышает  $\pm 1$  °С [8]. Метрологическое обеспечение тепловизоров в РФ осуществляется на основании схемы ГОСТ Р 8.558-2009 [9], а также Постановления Правительства РФ от 23.09.2010 № 734 [10].

Важной задачей при проведении поверок и осуществлении метрологического обеспечения тепловизионной техники является разработка нормативной документации и эталонной базы. Современные реалии требуют создания новых высокоточных источников излучения, освоения современных оптических технологий, применения элементной базы и цифровых способов обработки сигналов на базе современных вычислительных систем.

В настоящее время как в мире, так и в Российской Федерации ведутся разработки новых эталонных излучателей, средств калибровки оптических систем, средств калибровки и испытаний тепловизионных и радиометрических приборов. Данными разработками занимаются национальные метрологические центры: NIST (США), PTB (Германия), NPL (Великобритания); компании по производству тепловизионной техники: Santa Barbara Infrared, Inc.; Vega International, Inc.; Electro Optical Industries, Inc.; Infrared Systems Development; CI Systems, Inc. В РФ разработкой средств измерений и контроля характеристик тепловизионных приборов занимаются Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова, Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева и Государственный институт прикладной оптики. На данный момент существует огромная база нормативно-технической документации и эталонов для метрологического обеспечения средств ТВК. Тем не менее эта база не может охватить весь спектр параметров и характеристик тепловизионной техники.

Важной задачей поверки тепловизионных средств является их калибровка. Современные калибраторы температур зачастую характеризуются значительными погрешностями измерения. Как следствие, метрологическое обеспечение тепловизионной техники сталкивается с проблемой разработки средств калибровки [11]. Кроме того, поверка, калибровка и градуировка предусматривают наличие эталонных средств измерения. В Российской Федерации на сегодняшний день практически прекращен выпуск моделей «абсолютно черных тел», температурных ламп, предназначенных для поверки пирометров полного и частичного излучения.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обозначенные проблемы могут решаться в нескольких направлениях:

1. Совершенствование имеющихся и разработка новых средств оценки характеристик тепловизионных приборов.
2. Установление четких требований в отношении диапазона и точности тепловизионных приборов.
3. Усовершенствование методик расчета поправочных коэффициентов, учитывающих погодные условия и излучение близлежащих объектов.
4. Разработка единой системы метрологического обеспечения средств измерения и контроля характеристик современных тепловизионных приборов.
5. Совершенствование нормативной базы по обеспечению метрологического контроля современных тепловизионных приборов.
6. Увеличение объемов финансирования исследований и мероприятий, направленных на разработку и развитие метрологического обеспечения современных тепловизионных приборов.

Таким образом, метрологическое обеспечение методов неразрушающей диагностики ВЛЭП, направленное на минимизацию потерь электроэнергии, требует развития измерительной, нормативной и эталонной базы обеспечения измерения и контроля характеристик тепловизионных средств измерения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самарин А.В., Масалов В.Н. Современные технологии мониторинга воздушных электросетей ЛЭП // *Control Engineering Россия*. 2013. Т. 45. № 3. С. 88–94.
2. Полуянова М.С., Соколов Д.С., Боева Л.В., Киселев Г.Ю. Дистанционные методы обследования линий электропередач // *Молодой ученый*. 2017. Т. 156. № 22. С. 68–70.
3. Объем и нормы испытания электрооборудования: Стандарт организации СТО 34.01-23.1-001-2017. Введен 29.05.2017. 262 с.
4. Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и воздушных линий: Руководящий документ РД 153-34.0-20.363-99. М.: СПО ОРГРЭС, 2001.
5. Спивак Е.В., Минин О.В. Метрологическое обеспечение инфракрасных средств теплового контроля // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь*. 2018. № 9. С. 53–55.
6. Об обеспечении единства измерений: Федер. закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_77904/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904/) (дата обращения: 15.08.2022).
7. Приборы тепловизионные измерительные: Государственный стандарт ГОСТ Р 8.619-2006. М.: Стандартинформ, 2006.
8. Гоголинский К.В., Сильд Ю.А. Метрологическое обеспечение средств теплового неразрушающего контроля: измерительных тепловизоров и пирометров // *NDT World*. 2017. Т. 20. № 1. С. 21–24.
9. Государственная поверочная схема для средств измерения температуры: Государственный стандарт ГОСТ Р 8.558-2009. М.: Стандартинформ, 2019.
10. Об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений: Постановление Правительства РФ от 23.09.2010 № 734. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_121000/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121000/)



consultant.ru/document/cons\_doc\_LAW\_105375/c3ec6e9a025029aba40604844226dad91ee2a7c2/ (дата обращения: 15.08.2022).

11. Акимова И.А., Булатова А.Г., Вихарева Н.А. Разработка методики калибровки тепловых излучателей для определения метрологических характеристик опто-электронных приборов // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь*. 2019. № 7. С. 3–7.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

*ИВАНОВА Наталья Игоревна* – кандидат технических наук, доцент кафедры биотехнологии, химии и стандартизации, Тверской государственной технической университет, 170023, Россия, г. Тверь, пр. Ленина, д. 25. E-mail: enatashai19@yandex.ru

*ДЕМЕНТЬЕВ Андрей Дмитриевич* – магистрант, Тверской государственной технической университет, 170023, Россия, г. Тверь, пр. Ленина, д. 25. E-mail: sulman@online.tver.ru

*ВАЛИЕВА Гунча Гочмурадовна* – магистрант, Тверской государственной технической университет, 170023, Россия, г. Тверь, пр. Ленина, д. 25. E-mail: sulman@online.tver.ru

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Иванова Н.И., Дементьев А.Д., Валиева Г.Г. Проблемы метрологического обеспечения тепловизионной диагностики воздушных линий электропередач // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2022. № 4 (16). С. 45–50.

---

### PROBLEMS OF METROLOGICAL SUPPORT OF THERMAL IMAGING DIAGNOSTICS OF OVERHEAD POWER LINES

*N.I. Ivanova, A.D. Dementyev, G.G. Valieva*  
*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** This article discusses the main problems of metrological support for such a method of non-destructive diagnostics of the state of overhead power lines as thermal imaging control. Information is provided on the classification and devices recorded in the regulatory and technological documentation and used in thermal imaging diagnostics. The main aspects of metrological support of thermal imaging equipment are considered. The ways of solving the indicated problems are presented.

**Keywords:** overhead power transmission lines, remote control methods, thermal imaging control, metrological support.

#### REFERENCES

1. Samarin A.V., Masalov V.N. Modern technologies for monitoring overhead power grids of power lines. *Control Engineering*. 2013. Vol. 45. No. 3, pp. 88–94. (In Russian).
2. Polyuanova M.S., Sokolov D.S. Remote methods of inspection of power transmission lines. *Molodoj ychenij*. 2017. Vol. 156. No. 22, pp. 68–70. (In Russian).
3. Obem i normi ispitaniya elektrooborydivaniya [Scope and standards of testing of electrical equipment]: Standart organizacii STO 34.01-23.1-001-2017. Introduced 29.05.2017. 262 p.

4. Osnovnie polozheniya metodiki infrakrasnoj diagnostiki elektrooborydovaniya I vozdyshnix linij [The main provisions of the methodology of infrared diagnostics of electrical equipment and overhead lines]: Rykovodyashij dokument RD 153-34.0-20.363-99. Moscow: SPO ORGRES, 2001.
5. Spivak E.V., Minin O.V. Metrological support of IR means of thermal control. *Interekspo GEO-Sibir*. 2018. No. 9, pp. 53–55. (In Russian).
6. Ob obespechenii edistva izmerenij [On ensuring the uniformity of measurements]: Federal Law No. 102-FZ of 26.06.2008. Access from the legal reference system “ConsultantPlus”. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_77904/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904/) (date of access: 15.08.2022).
7. Pribori teplovizionnie izmeritelnie [Thermal imaging measuring devices]: State Standard GOST R 8.619-2006. Moscow: Standartinform, 2006.
8. Gogolinskij K.V., Sild U.A. Metrological support of means of thermal non-destructive testing: measuring thermal imagers and pyrometers. *NDT World*. 2017. Vol. 20. No. 1, pp. 21–24. (In Russian).
9. Gosydarstvennaya poverochnaya sxema dlya sredstv izmereniya temperatury [State verification scheme for temperature measuring instruments]: State Standard GOST R 8.558-2009. Moscow: Standartinform, 2019.
10. Ob etalonax edinic velichin, ispozyemix v sfere gosydarstvennogo regyirovaniya obespecheniya edinstva izmerenij [About standards of units of quantities used in the field of state regulation of ensuring the uniformity of measurements]: Decree of the Government of the Russian Federation No. 734 dated 23.09.2010. Access from the legal reference system “ConsultantPlus”. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_105375/c3ec6e9a025029aba40604844226dad91ee2a7c2/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_105375/c3ec6e9a025029aba40604844226dad91ee2a7c2/) (date of access: 15.08.2022).
11. Akimova I.A., Bulatova A.G., Vihareva N.A. Development of a method for calibration of thermal emitters for determining the metrological characteristics of optoelectronic devices. *Interekspo GEO-Sibir*. 2019. No. 7, pp. 3–7.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*IVANOVA Natalia Igorevna* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Biotechnology, Chemistry and Standardization, Tver State Technical University, 25, Lenin av., Tver, 170023, Russia. E-mail: enatahai19@yandex.ru

*DEMENTIEV Andrey Dmitrievich* – Master's Student, Tver State Technical University, 25, Lenin av., Tver, 170023, Russia. E-mail: sulman@online.tver.ru

*VALIEVA Guncha Gochmuradovna* – Master's student, Tver State Technical University, 25, Lenin av., Tver, 170023, Russia. E-mail: sulman@online.tver.ru

#### CITATION FOR AN ARTICLE

Ivanova N.I., Dementyev A.D., Valieva G.G. Problems of metrological support of thermal imaging diagnostics of overhead power lines // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2022. No. 4 (16), pp. 45–50.

УДК 62-218.2

**РАЗРАБОТКА ЖАРОСТОЙКОГО БЕТОНА  
ДЛЯ ФУНДАМЕНТОВ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК***Ю.Ю. Курятников**Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*

© Курятников Ю.Ю., 2022

**Аннотация.** В статье представлены результаты экспериментальных исследований по разработке жаростойкого бетона, который может использоваться для фундаментов промышленных электротехнологических установок: электрических печей и электронагревательных установок, электросварочных установок всех видов, установок для размерной электрофизической и электрохимической обработки металлов.

**Ключевые слова:** жаропрочный бетон, электротехнологические установки, состав бетона.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2022-4-51-56****ВВЕДЕНИЕ**

По программе импортозамещения в РФ строятся новые предприятия, реконструируются старые заводы всех отраслей: металлургии, машиностроения, пищевой промышленности, промышленности строительных материалов и др. В связи с этим растет объем строительства новых и реконструкции старых электротехнологических установок и тепловых агрегатов, футеровка в которых выполняется с применением современных огнеупорных материалов, в том числе жаростойких бетонов с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Преимущества жаростойких бетонов перед штучными керамическими изделиями состоят в следующем:

футеровка, выполненная с применением жаростойких бетонов, имеет минимальное количество швов – самых узких мест любых футеровок, откуда начинается разрушение;

жаростойкие бетоны возможно получать как на гидравлических, так и на химических связующих, что позволяет применять их в футеровках с различными агрессивными средами;

за счет сокращения числа швов в футеровках печей снижается расход тепловых ресурсов, повышается производительность труда обслуживающего персонала и увеличивается межремонтный цикл работы тепловых агрегатов.

Несмотря на значительные преимущества жаростойких бетонов, пока что большинство футеровок тепловых агрегатов возводится с использованием штучных керамических изделий. Это обстоятельство объясняется малым числом заводов по выпуску жаростойких бетонов.

Исследования жаростойких бетонов проведены в ряде научных работ. Статья [1] посвящена изучению влияния минеральных добавок на свойства жаростойких мелкозернистых шлакощелочных бетонов с шамотным заполнителем. В качестве шлакощелочного вяжущего для проведения исследований использован само-

распадающийся феррохромовый шлак, затворенный водным раствором NaOH. Минеральные добавки различной природы и химического состава вводили в количестве 10 и 20 % взамен части самораспадающегося феррохромового шлака. В результате работы выявлено, что применение добавок каолина и реактивного глинозема позволяет получить жаростойкие бетоны с высокой остаточной прочностью и термостойкостью. Кроме того, каолин способствует повышению прочности бетона после тепловой обработки, а применение реактивного глинозема позволяет получить жаростойкий бетон с классом по предельно допустимой температуре применения И13.

Интерес представляет разработка жаростойких бетонов на основе тальково-хлоритовых сланцев [2]. В работе исследованы их химический, дифференциально-термический и рентгенографический анализы и проведена сравнительная оценка. На основе заполнителя из термообработанных при разных температурах сланцев подобраны составы и изучены основные свойства жаростойких бетонов. Установлено, что бетоны на основе термообработанных при 1 000 °С сланцев месторождения Калиево-Муренанваара Сегозерской группы удовлетворяют основным требованиям, предъявляемым к жаростойким бетонам, и могут применяться для футеровки тепловых агрегатов с нейтральной средой. Они имеют остаточную прочность не ниже 30 %, усадку не более 1 %, предельно допустимую температуру применения 1 000 °С и низкий коэффициент теплопроводности.

В качестве наполнителя в жаростойких бетонах эффективно использовать армирующие волокна [3]. В составы бетонов было введено армирующее волокно в количестве 4 % от массы вяжущего вещества. В качестве армирующих волокон использовались отработанное асбестовое волокно, базальтовое волокно и металлическая фибра из жаростойкой стали. Введение огнеупорных волокнистых материалов в виде армирующих компонентов позволило повысить не только предел прочности при изгибе, но и термическую стойкость жаростойких бетонов на портландцементе, глиноземистом цементе, жидком стекле. Применение волокон в виде армирующих компонентов позволило использовать многие жаростойкие бетонные элементы в качестве изделий, испытывающих изгибающий эффект (например, в плитах перекрытия туннельных печей и других тепловых агрегатах).

Номенклатура сырьевых материалов для приготовления составляющих жаростойких бетонов может быть расширена за счет применения различных промышленных отходов, среди которых значительное место занимают металлургические шлаки [4, 5]. На их основе можно получать вяжущие, заполнители, тонкомолотые добавки и отвердители для жаростойких и огнеупорных бетонов с температурой применения 800–1 700 °С. В качестве вяжущего для жаростойких бетонов применяются шлаки алюминотермического производства безуглеродистого феррохрома. После помола эти шлаки приобретают свойства быстротвердеющего гидравлического вяжущего с прочностью в трехсуточном возрасте 20–35 МПа. При изучении жаростойких свойств гидратированного шлакового вяжущего установлено, что минимальная остаточная прочность полученного цементного камня образцов после воздействия температуры 1 200 °С составляет 35–60 %; усадка – 1,3–1,6 %; огнеупорность – 1 520–1 540 °С; температура деформации (под нагрузкой 0,2 МПа): начало размягчения – 1 220–1 230 °С; разрушение – 1 400–1 500 °С.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

По заявке заказчика для использования на ОАО «Мелькомбинат» (город Тверь) нами разработан жаростойкий бетон ВР Р В25 И5 (согласно ГОСТ 20910-2019 «Бетоны жаростойкие. Технические условия») класса по прочности на сжатие В25 с температурой применения до 500 °С.

Применялись следующие сырьевые материалы: портландцемент ЦЕМ I 42,5Н ЖИ, шамотный щебень ЗША фракции 5–20 мм, шамотный отсев ЗША фракции 0–5 мм, шамот молотый ПШБМ, добавка-суперпластификатор SikaPlast E-4 (рис. 1). Физико-химические показатели огнеупорных заполнителей представлены в табл. 1, 2.



Рис. 1. Инертные материалы для изготовления жаростойкого бетона.  
Слева направо: шамот молотый, отсев шамота 0–5 мм, шамотный щебень 5–20 мм

Таблица 1

Физико-химические показатели шамотного щебня и шамотного отсева

Наименование показателя	Норма для марки	
	ЗША	ЗШБ
Массовая доля $Al_2O_3$ , не менее, %	35	28
Огнеупорность, °С, не ниже	1 690	1 630
Водопоглощение, %, не более	6	8

Таблица 2

Физико-химические показатели молотого шамота

Наименование показателя	ПШБМ
Содержание $Al_2O_3$ , не менее, %	31
Огнеупорность, °С	1 670
Зерна более 5 мм, %	0
Зерна менее 0,5 мм, %	43

Молотый шамот ПШБМ – это огнеупорный материал, получаемый путем измельчения обожженных огнеупорных глин каолиновой группы. Исходное сырье (глину) продолжительное время обжигают в промышленных печах при температуре до 1 500 °С. Полученный в результате обжига камень измельчают. Молотый шамот оказывает положительное влияние на физико-химические характеристики жаростойкого бетона, увеличивает жаропрочность и снижает усадку. Обладая высокой огнеупорностью до 1 670 °С, молотый шамот инертен под воздействием кислот.

Испытания на предельно допустимую температуру применения жаростойкого бетона проводили следующим образом. Изготавливали контрольные и основные образцы жаропрочного бетона, которые твердели семь суток, а затем высушивали двое суток в сушильном шкафу при температуре 105 °С. Контрольные образцы испытывали на прочность. Основные образцы нагревали до предельно допустимой температуры применения (в нашем случае это 500 °С) и выдерживали 4 ч. Затем основные образцы выдерживали еще семь суток над водой. Если после нагрева или выдержки над водой в образцах появлялись трещины или околы, бетон браковали. Определяли остаточную прочность бетона как отношение прочности основных образцов к прочности контрольных (рис. 2).



Рис. 2. Образцы, испытанные на прочность после нагрева

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По итогам проведенных исследований был разработан оптимальный состав жаростойкого бетона класса по прочности на сжатие В25 с температурой применения до 500 °С. Фактическая остаточная прочность составляет 97 %, что намного выше нормируемой (не менее 60 %) (табл. 3). Данный факт означает, что разработанный состав можно испытывать на возможность выдерживания при более высокой температуре применения. Использование в составе шамотных огнеупорных заполнителей и наполнителей дает потенциальную возможность эксплуатировать данный бетон при температуре до 1 200 °С в случае положительных испытаний.

Таблица 3

Физико-механические характеристики  
образцов оптимального состава жаростойкого бетона

Средняя плотность контрольных образцов, кг/м <sup>3</sup>	Средняя плотность основных образцов, кг/м <sup>3</sup>	Прочность контрольных образцов, МПа	Прочность основных образцов, МПа	Остаточная прочность фактическая, %	Остаточная прочность нормируемая, не менее, %	Класс по температуре применения / температура применения, °С
1 990	1 945	35,3	34,4	97	60	И5 / 500

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Был разработан жаростойкий бетон BR P B25 И5, который может использоваться для монолитных фундаментов промышленных электротехнологических установок. Дальнейшее совершенствование данного материала пойдет по пути уменьшения его себестоимости за счет использования в составе отходов промышленности.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ахтямов Р.Р. Исследование влияния минеральных добавок на свойства жаростойких бетонов на шлакощелочном вяжущем // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2020. Т. 20. № 2. С. 65–74.
2. Бастрыгина С.В., Конохов Р.В., Заверткин А.С. Разработка жаростойких бетонов на основе талько-хлоритовых сланцев // *Труды Кольского научного центра РАН. Технологии материалов*. 2018. № 2–2 (9). С. 803–808.
3. Сульдин В.В., Хлыстов А.И. Влияние тугоплавких армирующих волокон на свойства жаростойких бетонов // *Национальная ассоциация ученых (НАУ). Технические науки*. 2015. № 3–3 (8). С. 136–139.
4. Абызов А.Н., Рытвин В.М., Абылов В.А., Перепелицын В.А., Григорьев В.Г. Жаростойкие и огнеупорные бетоны на основе вяжущих и заполнителей из шлаков ферросплавного производства // *Строительные материалы*. 2012. № 12. С. 67–69.
5. Рахимова Г.М., Садирбаева А.М., Сыздыкова С.К. Жаростойкий бетон на основе промышленных отходов // *Эпоха науки*. 2019. № 20. С. 182–187.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ**

*КУРЯТНИКОВ Юрий Юрьевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, Тверской государственный технический университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: yuriy-k@yandex.ru

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА**

Курятников Ю.Ю. Разработка жаростойкого бетона для фундаментов электротехнологических установок // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2022. № 4 (16). С. 51–56.

**DEVELOPMENT OF HEAT-RESISTANT CONCRETE  
FOR FOUNDATIONS OF ELECTROTECHNOLOGICAL INSTALLATIONS**

*Y.Y. Kuryatnikov*

*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** The article presents the results of experimental studies on the development of heat-resistant concrete, which can be used for the foundations of industrial electrotechnological installations: electric furnaces and electric heating installations, electric welding installations of all types, installations for dimensional electrophysical and electrochemical processing of metals.

**Keywords:** heat-resistant concrete, electrotechnological installations, concrete composition.

**REFERENCES**

1. Akhtyamov R.R. Investigation of the effect of mineral additives on the properties of heat-resistant concrete on a slag-alkali binder. *Vestnik YuUrGU. Seriya «Stroitel'stvo i arkhitektura»*. 2020. Vol. 20. No. 2, pp. 65–74. (In Russian).
2. Bastrygina S.V., Konokhov R.V., Zavertkin A.S. Development of heat-resistant concretes based on talco-chlorite shales. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. Tekhnologii materialov*. 2018. No. 2–2 (9), pp. 803–808. (In Russian).
3. Suldin V.V., Khlystov A.I. The effect of refractory fiber reinforcement on the properties of heat-resistant. *Natsional'naya assotsiatsiya uchenykh (NAU). Tekhnicheskie nauki*. 2015. No. 3–3 (8), pp. 136–139. (In Russian).
4. Abyzov A.N., Rytvin V.M., Abylov V.A., Perepelitsyn V.A., Grigoriev V.G. Heat-resistant and refractory concretes based on binders and aggregates from ferroalloy slag production. *Stroitel'nye materialy*. 2012. No. 12, pp. 67–69. (In Russian).
5. Rakhimova G.M., Sadyrbaeva A.M., Syzdykova S.K. Heat-resistant concrete based on industrial waste. *Epokha nauki*. 2019. No. 20, pp. 182–187. (In Russian).

**INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

*KURYATNIKOV Yury Yuryevich* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: yuriy-k@yandex.ru

**CITATION FOR AN ARTICLE**

Kuryatnikov Y.Y. Development of heat-resistant concrete for foundations of electrotechnological installations // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2022. No. 4 (16), pp. 51–56.



УДК 669.187: 621.186

**ЗАКОНЫ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГАЗОВЫХ ОБЪЕМОВ ФАКЕЛОВ  
И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДУГ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАКОНЫ ФИЗИКИ***А.Н. Макаров**Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*

© Макаров А.Н., 2022

**Аннотация.** В статье приведены расчеты по методике, разработанной на основе законов теплового излучения газовых объемов. Эти расчеты позволили впервые получить информацию о распределении потоков теплового излучения факела по поверхности пламенной трубы, горелочного устройства. Рассмотрены фундаментальные законы физики, в частности законы теплового излучения газовых объемов.

**Ключевые слова:** законы физики, теплообмен, тепловое излучение, факел, камера сгорания.

DOI: 10.46573/2658-7459-2022-4-57-64

**ВВЕДЕНИЕ**

По открытым законам и разработанной методике [1] был рассчитан теплообмен в камере сгорания газотурбинной установки (КС ГТУ) мощностью 4,25 МВт. Мощность факела 16,28 МВт. Результаты расчета изображены на рис. 1.

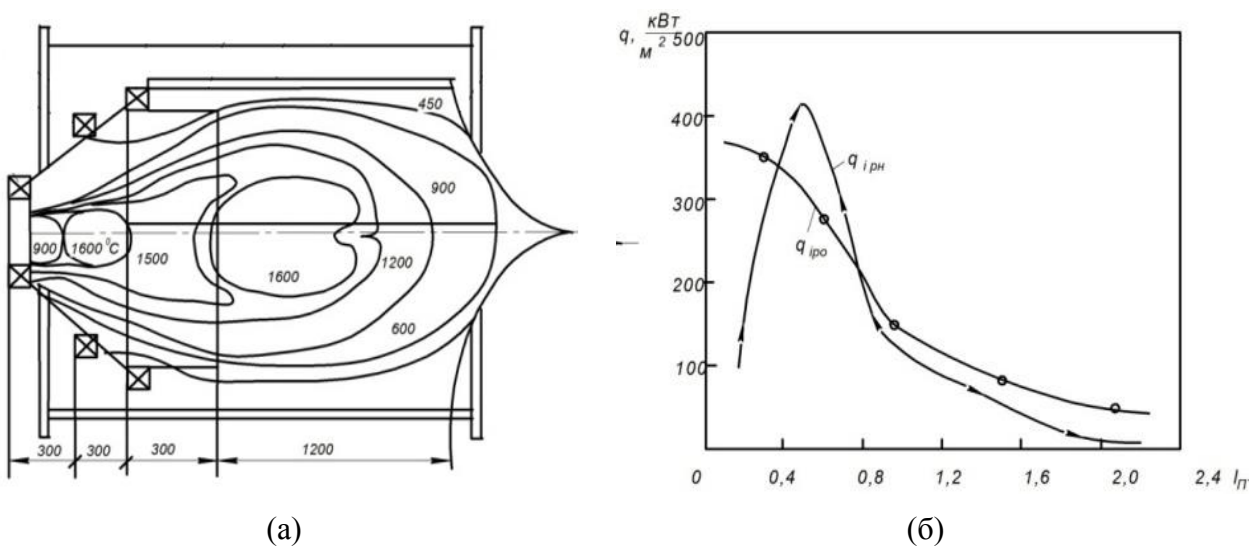


Рис. 1. Схема КС и распределения изотерм по объему факела (а); графики распределения плотностей потоков нагрева и охлаждения по длине пламенной трубы (б)

Анализ распределения плотностей результирующих потоков нагрева по длине КС показал их значительную неравномерность: от 380 кВт/м<sup>2</sup> на поверхностях большого

конуса чаши до  $120 \text{ кВт/м}^2$  в среднем кольце пламенной трубы и до  $8 \text{ кВт/м}^2$  в последней кольцевой зоне пламенной трубы у смесителя. На расстоянии  $0,5 \text{ м}$  от горелки охлаждение КС неудовлетворительное, поскольку результирующие тепловые потоки нагрева от факела превосходят тепловые потоки охлаждения воздуха. Для надежной эксплуатации КС требуется корректирование параметров охлаждающего воздуха по ее длине.

### РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕНА ПО ЗАКОНАМ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГАЗОВЫХ ОБЪЕМОВ

Были рассчитаны плотности потоков теплового излучения, падающих от факела на горизонтальную поверхность нагрева и горелочное устройство, при различной длине факела (рис. 2).

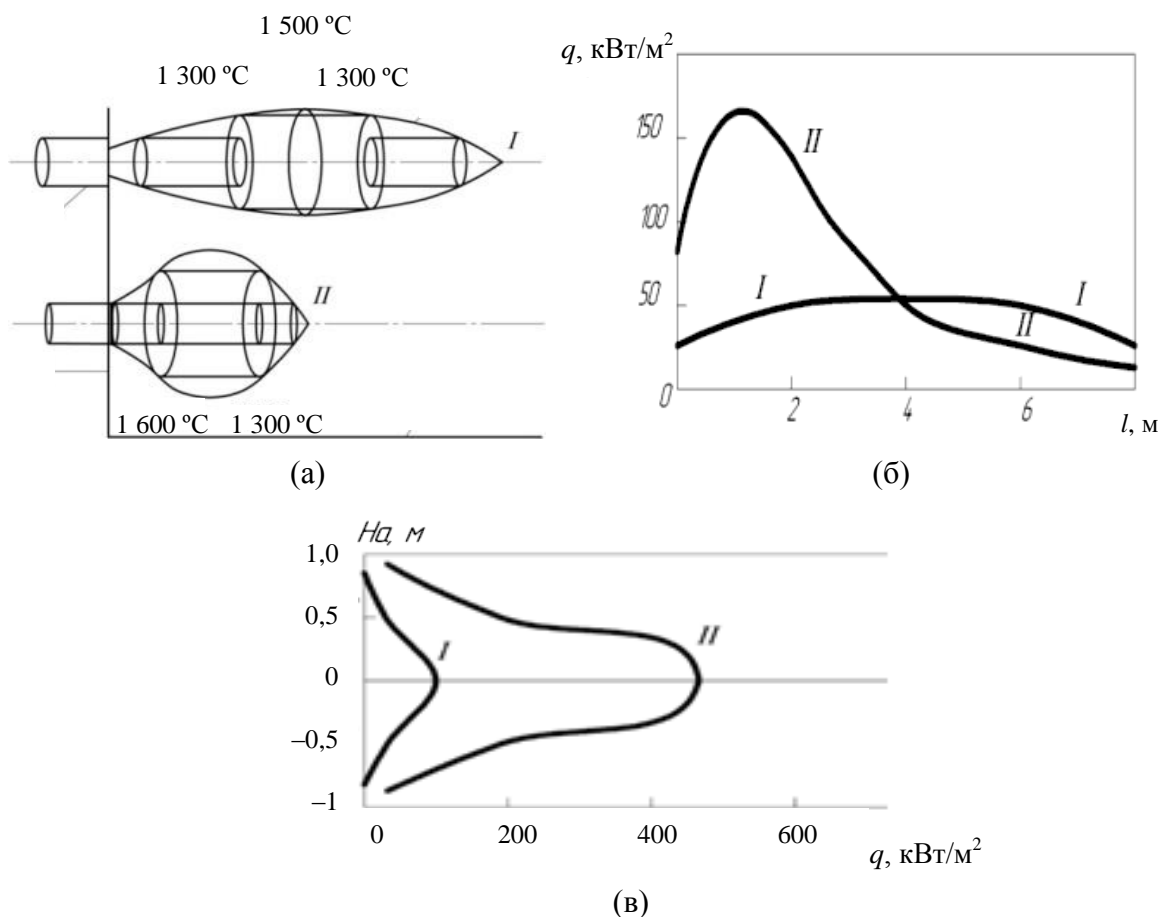


Рис. 2. Расположение факелов I и II одинаковой мощности ( $P_{\text{ф}} = 5 \text{ МВт}$ ), различной длины ( $l_{\text{фI}} = 8 \text{ м}$ ,  $l_{\text{фII}} = 3 \text{ м}$ ) (а); распределение тепловых потоков от факелов I и II по горизонтальной поверхности нагрева (б) и по поверхности амбразуры и горелочному устройству (в)

Как видно из результатов расчета, увеличение длины факела при постоянной его мощности влечет за собой снижение тепловых потоков, падающих на амбразуру и горелку. При увеличении длины факела в 2,7 раза (с 3 до 8 м) плотность тепловых потоков, падающих на горелку, уменьшилась в 4 раза – с  $480$  до  $120 \text{ кВт/м}^2$ . Данные расчетов

подтверждены экспериментальными исследованиями топок паровых котлов ТГМП-314 энергоблока 300 МВт на ТЭЦ-21, ТЭЦ-23 Мосэнерго и на Конаковской ГРЭС. При увеличении длины факела при постоянной мощности с 3 до 5 м, т.е. в 1,7 раза, плотность тепловых потоков излучения факела, падающих на горелочное устройство, снизилась в 2 раза (с 1 500–1 400 кВт/м<sup>2</sup> до 700–750 кВт/м<sup>2</sup>), срок службы горелок увеличился в 4 раза (с 6–12 месяцев до 2–4 лет) [2].

Расчеты по законам теплового излучения газовых объемов и разработанной на их основе методике позволили впервые получить полную расчетную информацию о распределении потоков излучения факела по поверхности пламенной трубы, горелочного устройства ГТУ, о величине и местоположении максимальных тепловых потоков факела на поверхности пламенной трубы для организации эффективного охлаждения и увеличения срока службы пламенной трубы ГТУ.

В настоящее время температура газов в КС и газовой турбине составляет 1 400–1 600 °С (рис. 3). Затраты на создание газотурбинного двигателя (ГТД) АЛ-31Ф составили несколько миллиардов долларов США, время создания – 10 лет. Около 10 % этой суммы приходится на конструирование, опытно-экспериментальные исследования КС, апробацию новой конструкции КС до ее эксплуатационного разрушения с последующим внесением изменений в конструкцию и использованием новых сплавов для достижения долговечности, вновь апробацию конструкции КС до разрушения, создание следующего опытного образца КС с жаропрочным покрытием. Такие работы продолжаются вплоть до создания образца КС с хорошими эксплуатационными свойствами и длительным ресурсом работы. Конструирование, исследование, изготовление, испытания опытного образца КС ведутся несколько лет до создания образца КС, обладающего высокой жаропрочностью, жаростойкостью, надежностью и долговечностью.

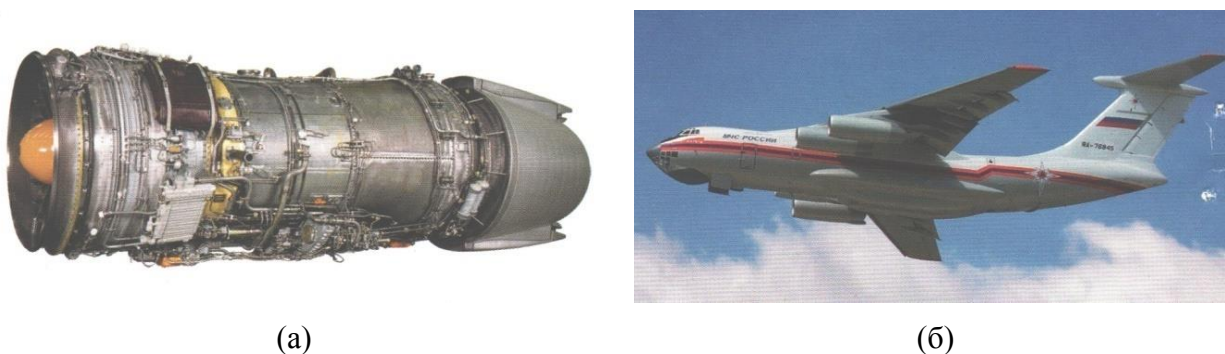


Рис. 3. Газотурбинный двигатель Д-30КП-2 с тягой 12 000 кг (а);  
Д-30КП-2 на самолете ИЛ-76 с грузоподъемностью 50 т (б)

При использовании разработанной методики расчета теплообмена в КС ГТУ, ГТД, основанной на открытых законах теплового излучения газовых объемов факела, время создания КС можно сократить в 2–3 раза, затраты на создание КС – на 20–30 %, на создание ГТД – на 5–8 %. Экономия при создании ГТД нового поколения с использованием открытых законов теплового излучения газовых объемов факелов и разработанной на их основе методики расчета теплообмена в КС может составить несколько сотен миллионов долларов.

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАКОНЫ ФИЗИКИ**

Все фундаментальные законы физики, законы Ньютона, Гаука, Фурье, Ома (таблица), теплового излучения газовых объемов Макарова и другие имеют относительно простое написание. В них мало расчетных параметров, но именно это и характеризует их фундаментальность, всеобщность и всеохватность, мультидисциплинарность, точность описания явлений природы.

Фундаментальные законы физики являются основой разработки теорий, методик расчета, с помощью которых в XX–XXI веках созданы все существующие виды техники и технологий, осуществлены электрификация, механизация, автоматизация, компьютеризация промышленности, сельского хозяйства и быта.

После открытия законов теплового излучения газовых объемов факелов и электрических дуг впервые появилась возможность рассчитывать теплообмен в электродуговых [3–6] и факельных печах, топках, КС [1–6] с высокой точностью, совершенствовать по всему миру теплообмен и конструкции электродуговых и факельных печей промышленных предприятий, топков, КС ГТУ электрических станций, экономить миллионы киловатт-час электроэнергии и миллионы тонн жидкого, газообразного, пылевидного топлива, сокращать выбросы загрязняющих веществ, уменьшать техногенную нагрузку на окружающую среду во многих городах мира.

Перечень ряда фундаментальных законов физики:  
законы Ньютона, Стефана – Больцмана, Ома, Планка,  
Вина, Эйнштейна, Макарова, постулаты Бора

Законы	Математическая запись	Формулировка
I закон Ньютона	$\vec{a} = 0$	Любое тело до тех пор, пока оно остается изолированным, сохраняет свое состояние покоя или равномерного прямолинейного движения (ускорение тела $\vec{a}$ равно нулю)
II закон Ньютона	$m\vec{a} = \vec{F}$	Произведение массы тела на ускорение, которое оно получило от воздействия силы $F$ другого тела, равно равнодействующей силе $F$
III закон Ньютона	$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$	Действию всегда есть равное и противоположное противодействие
Закон Стефана – Больцмана теплового излучения твердых тел	$q_{12} = \frac{\varphi_{12}\varepsilon_1 C_s F_1}{F_2} \cdot \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$	Плотность потока теплового излучения $q_{12}$ , падающего с тела 1 на тело 2, прямо пропорциональна разности температур тел в четвертой степени
Закон Ома	$I = \frac{U}{R}$	Ток, протекающий в проводнике, прямо пропорционален приложенному к нему напряжению и обратно пропорционален сопротивлению проводника

Продолжение таблицы

Законы	Математическая запись	Формулировка
Закон Планка	$E_{0\lambda} = c_1 \lambda^{-5} (e^{c_2/\lambda T} - 1)$	Квант энергии $\varepsilon$ излучающей частицы пропорционален частоте $\nu$ и универсальной постоянной (постоянной Планка)
Закон Вина	$\lambda_M T = 2,898 \cdot 10^{-3}$	Длина волны, при которой плотность излучения абсолютно черного тела (АЧТ) достигает максимального значения, обратно пропорциональна температуре тела
Закон Эйнштейна для фотоэффекта	$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}$	Энергия фотона, опускающегося на катод с последующим испусканием катодом электрона, равна энергии выхода и кинетической энергии электрона
Постулаты Бора	_____	<p>I. В стационарном состоянии атом не излучает.</p> <p>II. При переходе атома из состояния с большей энергией в состояние с меньшей энергией, когда электрон в атоме перескакивает с более удаленной от ядра на более близкую к нему орбиту, испускается квант электромагнитного излучения.</p> <p>III. В стационарном состоянии электрон движется по определенной орбите, на электрон в атоме действует кулоновская сила</p>
<b>Законы Макарова</b>		
I	$q_{FdF} = \frac{\phi_{F_0 dF} \cdot P_F \cdot e^{-kl}}{F_0} = \frac{\phi_{F_0 dF} \cdot P_F}{F_0 \cdot e^{kl}}$	Плотность потока теплового излучения, падающего от газового объема на расчетную площадку, прямо пропорциональна его мощности, угловому коэффициенту излучения и обратно пропорциональна коэффициенту поглощения, средней длине пути лучей от всех атомов объема до площадки и площади площадки
II	$l_1 = l_2 = l_3 = \dots = l_i = \left( \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{n} \right) = l$	Средняя длина пути лучей от квадриллионов излучающих атомов объема до расчетной площадки равна среднеарифметическому расстоянию от оси симметрии объема до площадки

Окончание таблицы

Законы	Математическая запись	Формулировка
III	$\phi_{F_1,dF} = \phi_{F_2,dF} = \phi_{F_3,dF} = \dots = \phi_{F_i,dF}$	Угловые коэффициенты излучения коаксиальных цилиндрических газовых объемов на расчетную площадку равны
IV	$q_{F_1,dF} = q_{F_2,dF} = q_{F_3,dF} = \dots = q_{F_i,dF}$	Плотности потоков излучений коаксиальных цилиндрических газовых объемов на расчетную площадку равны
V	$q_{F_i,dF} = \sum_{i=1}^n q_{F_i,dF}$	Плотности потоков тепловых излучений цилиндрического газового объема большого диаметра и его цилиндрической оси симметрии на расчетную площадку равны при равенстве выделяющихся в них тепловых мощностей

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За открытие Вином и Планком законов теплового излучения твердых тел, АЧТ Вину в 1911 году и Планку в 1918 году были присуждены Нобелевские премии по физике. За аналогичное по своему значению открытие закона фотоэффекта излучения Эйнштейну в 1921 году, а Бору за разработку теории атома и излучения из него в 1922 году были присуждены Нобелевские премии по физике. Законы теплового излучения газовых объемов, так же как и законы теплового излучения твердых тел, АЧТ, относятся к фундаментальным законам физики, ее разделу «Квантовая физика теплового излучения». Бор был последним ученым, который получил Нобелевскую премию по физике за открытие фундаментальных законов. Такое открытие – выдающееся событие в жизни человечества, которое происходит один раз в 50–80 лет. Подтверждением данного факта являются учебники физики для школ и университетов, в которых изложены чуть более 30 законов, открытых человечеством за 3 000 лет (начиная с III века до н. э. с закона Архимеда и заканчивая последними фундаментальными законами, постулатами, открытыми Бором в 1913 году).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Makarov A.N. Calculations of Heat Transfer in Torch Furnaces // *JP Journal of Heat and Mass Transfer*. 2019. No. 18 (1), pp. 145–165. DOI: 10.17564/HM018010145
2. Makarov A.N. Calculations of Heat Transfer in the Furnaces of Steam Boilers According in the Laws of Radiation of Gas Volumes // *Heat Transfer-Models, Method and Applications*. 2018, pp. 111–130. DOI: 10.5772/intechopen.75529
3. Makarov A.N. Change in Arc Efficiency During Melting in Steel-Melting Arc Furnaces // *Metallurgist*. 2017. No. 61 (3–4), pp. 55–58. DOI: 10.1007/s 11015-017-0492-Y
4. Makarov A.N. Effect of the Architecture on Energy Efficiency of Electric Arc Furnaces of Conventional and Consteel Designs // *Metallurgist*. 2019. Vol. 62. No. 9–10, pp. 882–891. DOI: 10.1007/S 11015-019-00743-9
5. Makarov A.N. Calculation and Analysis of Energy Parameters of Meltings in Eafths of Conventional and Consteel Design // *Metallurgist*. 2019. Vol. 62. No. 9–10, pp. 974–978. DOI: 10.100/S 11015-019-00733-X

6. Makarov A.N. Calculation and Analysis of the Relationship Between the Efficiency and Position of Electric Arcs Furnaces (EAF) of Smaller and Larger Capacity. Part I. Calculation and Analysis of the Relationship Between Arc Efficiency and Power Consumption // *Metallurgist*. 2019. Vol. 63. No. 3–4, pp. 341–349. DOI: 10/1007/S 11015-019-00829-4

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

МАКАРОВ Анатолий Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электроснабжения и электротехники, Тверской государственной технической университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: tgtu\_kafedra\_ese@mail.ru

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Макаров А.Н. Законы теплового излучения газовых объемов факелов и электрических дуг и фундаментальные законы физики // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2022. № 4 (16). С. 57–64.

---

### LAWS OF THERMAL RADIATION OF GAS VOLUMES AND FUNDAMENTAL LAWS OF PHYSICS

*A.N. Makarov*

*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** The article presents calculations according to a technique developed on the basis of the laws of thermal radiation of gas volumes. These calculations made it possible for the first time to obtain information on the distribution of thermal radiation fluxes of the torch over the surface of the flame tube, burner device. The fundamental laws of physics, in particular the laws of thermal radiation of gas volumes, are considered.

**Keywords:** laws of physics, heat transfer, thermal radiation, torch, combustion chamber.

#### REFERENCES

1. Makarov A.N. Calculations of Heat Transfer in Torch Furnaces. *JP Journal of Heat and Mass Transfer*. 2019. No. 18 (1), pp. 145–165. DOI: 10.17564/HM018010145
2. Makarov A.N. Calculations of Heat Transfer in the Furnaces of Steam Boilers According in the Laws of Radiation of Gas Volumes. *Heat Transfer-Models, Method and Applications*. 2018, pp. 111–130. DOI: 10.5772/intechopen.75529
3. Makarov A.N. Change in Arc Efficiency During Melting in Steel-Melting Arc Furnaces. *Metallurgist*. 2017. No. 61 (3–4), pp. 55–58. DOI: 10.1007/s 11015-017-0492-Y
4. Makarov A.N. Effect of the Architecture on Energy Efficiency of Electric Arc Furnaces of Conventional and Consteel Designs. *Metallurgist*. 2019. Vol. 62. No. 9–10, pp. 882–891. DOI: 10.1007/S 11015-019-00743-9
5. Makarov A.N. Calculation and Analysis of Energy Parameters of Meltings in EafTs of Conventional and Consteel Desing. *Metallurgist*. 2019. Vol. 62. No. 9–10, pp. 974–978. DOI: 10.100/S 11015-019-00733-X

6. Makarov A.N. Calculation and Analysis of the Relationship Between the Efficiency and Position of Electric Arcs Furnaces (EAF) of Smaller and Larger Capacity. Part I. Calculation and Analysis of the Relationship Between Arc Efficiency and Power Consumption. *Metallurgist*. 2019. Vol. 63. No. 3–4, pp. 341–349. DOI: 10/1007/S 11015-019-00829-4

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

*MAKAROV Anatoly Nikolaevich* – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Power Supply and Electrical Equipment, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: tgtu\_kafedra\_ese@mail.ru

#### CITATION FOR AN ARTICLE

Makarov A.N. Laws of thermal radiation of gas volumes and fundamental laws of physics // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2022. No. 4 (16), pp. 57–64.

**УДК 621.3:628.971.6**

### ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В СИСТЕМЕ ОСВЕЩЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Т.Ш. Хавазов, А.В. Крупнов*

*Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*

© Хавазов Т.Ш., Крупнов А.В., 2022

**Аннотация.** В статье приведены и рассмотрены способы повышения энергоэффективности освещения транспортных дорог. Приведена ожидаемая оценка энергосбережения в результате перехода на светодиодные светильники, изучено применение индивидуального диммирования. Затронут вопрос влияния диммеров на качество электроэнергии.

**Ключевые слова:** диммирование, энергосбережение, энергоэффективность, освещение транспортных дорог, качество электроэнергии, светодиодные светильники.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2022-4-64-72**

#### ВВЕДЕНИЕ

Уличное освещение важно для любого города и страны в целом. Благодаря нему службы продолжают функционировать с наступлением темноты.

Системы уличного освещения зародились еще в XV веке и прошли немалый путь развития – от примитивных масляных ламп до автоматизированных систем с возможностью дистанционного управления. Качественное и правильно выполненное утилитарное освещение способствует сокращению числа аварийных ситуаций на автомагистралях, поскольку порядка 30–40 % всех дорожно-транспортных происшествий приходится именно на темное время суток, несмотря на снижение транспортной нагрузки автодорог [1, 2].



Единичная мощность осветительного оборудования невелика, но их общая потребляемая мощность может достигать 40 % от всей потребляемой мощности города [3]. Это значит, что для повышения энергоэффективности схемы электроснабжения городов особое внимание следует уделять наружному освещению.

Энергоэффективной считается такая система освещения, энергопотребление которой имеет минимальное значение при обеспечении заданных нормативно-технических показателей.

В настоящее время обеспечить энергоэффективность освещения дорог общего пользования можно:

применением светодиодных светильников,  
улучшением конфигурации сети освещения,  
оптимизированием управления освещением.

### **ПЕРЕХОД НА СВЕТОДИОДНЫЕ СВЕТИЛЬНИКИ**

Самый высокий класс дороги – А1 – это магистральные дороги и улицы общегородского значения за пределами центра города, 6–8 полос в обоих направлениях. Для полноценного освещения таких дорог используются светильники с натриевыми газоразрядными лампами ДНаТ мощностью 400 Вт и световым потоком 28 000 лм [4]. При переходе на светодиодные светильники последние должны сохранить световой поток на том же уровне.

Сопоставимые по световому потоку светодиодные светильники имеют мощность от 200 до 300 Вт [4, 5], что на 25–50 % меньше мощности светильника с лампой ДНаТ. Это уже обеспечивает экономию электроэнергии на указанный процент. Важно отметить, что приведена мощность светильника без учета потерь в электронной или электромагнитной пускорегулирующей аппаратуре (ЭПРА) светильника с ДНаТ и драйвере светодиодного светильника, так как они примерно соизмеримы. Потребляемая мощность ЭПРА или драйвера добавляет к потребляемой мощности лампы 7–10 % [6–8].

Коэффициент мощности ЭПРА и драйвера при полной нагрузке составляет 0,97–0,98 и снижается до 0,93–0,94 при нагрузке до 50 %, что показывает незначительную реактивную составляющую мощности в нагрузке светильника. Например, при мощности 220 Вт полная мощность светильника составит 225 ВА (реактивная составляющая мощности 45 вар), т.е. потребляемый ток составит 1,02 А в противовес току, рассчитанному по показателю активной мощности 1 А. На основе равенства коэффициентов мощности сопоставим светильники по активной мощности.

При углубленном сопоставлении важным аспектом будет наличие диммирования. Светодиодные светильники легко поддаются последнему в отличие от светильников с газоразрядными лампами, которые требуют специальную ЭПРА [9]. Наличие диммирования светильников с ДНаТ существенно повышает их стоимость.

В источнике [10] представлено упрощенное технико-экономическое сопоставление светильников без учета диммирования. Из него видно, что при проектировании наиболее оправдано применение светодиодных светильников, несмотря на их большую стоимость по сравнению с ДНаТ.

Замена при реконструкции светильников ламп ДНаТ на лампы светодиодные требует отдельного рассмотрения. При перегорании лампы ДНаТ эксплуатирующая организация заменяет только ее, при перегорании светодиодов необходим демонтаж светильника и его ремонт или замена целиком. Срок службы лампы ДНаТ составляет

15 000–20 000 ч, светодиодного светильника – 60 000–80 000 ч, т.е. за период работы последнего будут затраты на замену 3–4 ламп ДНаТ. Отсюда следует, что для обеспечения восстановления работы светильника будут производиться затраты на замену лампы или демонтаж/монтаж светильника. В запасе на складе всегда надо иметь лампы ДНаТ или светодиодный светильник. Данный фактор увеличит полученный срок окупаемости [10]. В определенных случаях энергосберегающим решением будет установка в светильники ЭПРА с возможностью диммирования, которая может обеспечить снижение суммарного энергопотребления до 42 % [9].

### УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ ОСВЕЩЕНИЯ

Система управления наружным освещением – систематизированный набор средств воздействия на подконтрольный объект для достижения определенных целей данным объектом [11]. Они подразделяются на системы с участием человека (автоматизированные) и системы без участия человека (автоматические). Современные системы включают оба принципа управления, где все работает в автоматическом режиме, а оператор следит, проверяет исправное функционирование системы, задает сценарии ее функционирования и следит за эффективным использованием электроэнергии.

Системы автоматического управления:

управляют освещением в соответствии с заданным графиком;  
осуществляют мониторинг осветительной сети: выводят оператору информацию о работе светильников, их включении и выключении; выводят показания токов, напряжений и мощностей для предупреждения аварий от каждой группы светильников.

Развитие техники и технологий дало новые дополнения для системы освещения:

датчики освещенности позволяют корректировать время включения, заданное графиком;

датчики интенсивности движения и скорости движения могут корректировать освещенность, снижать освещенность в часы малой загрузки дороги [12, 13];

метеорологические датчики позволяют точнее определять сроки ввода и отмены ограничений движения тяжеловесного транспорта [12, 13];

индивидуальное управление светильниками в группе (адресное управление) дает возможность регулировать разные светильники в одной системе [14, 15].

Для повышения энергоэффективности освещения дорог, особенно класса А1, где недопустимо выключение части светильников, единственным способом является диммирование. Перечисленные датчики и система адресного управления значительно снижают расход электроэнергии на освещение за счет диммирования.

Для осуществления адресного диммирования светильники снабжаются ЭПРА и драйверами с интерфейсами управления 0-10В, ШИМ 10В (PWM 10V) или DALI. Для управления применяют стандарт беспроводной связи GSM, проводной по силовой линии PLC [14–16].

### ДИММИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ

Процесс управления яркостью свечения лампы или осветительной установки называют диммированием, а само устройство управления – диммером.

Простейший диммер представляет собой переменный резистор (реостат). Недостатки реостатного диммера – низкий КПД и его существенный нагрев. Более сложным является автотрансформаторный диммер. Его недостатки – стоимость, габариты,

вес и наличие электромеханических элементов в системе управления. Современным и технологичным является диммер на основе полупроводниковых элементов, симисторов или транзисторов. Первые два устройства на выходе имеют неискаженный синусоидальный сигнал, а вот полупроводниковый (электронный) диммер выдает несинусоидальный сигнал, сформированный отсечением частей синусоиды. На рис. 1 приведен пример маломощного диммера на симисторе.

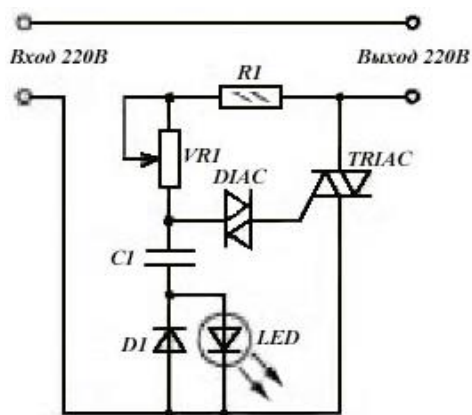


Рис. 1. Схема маломощного диммера бытового назначения

Электронные диммеры могут являться источниками электромагнитных помех [17], поэтому требуется введение в схему дросселей или LC-фильтров со стороны питания и со стороны нагрузки. На рис. 2 представлен пример изменения синусоиды в результате работы диммера.

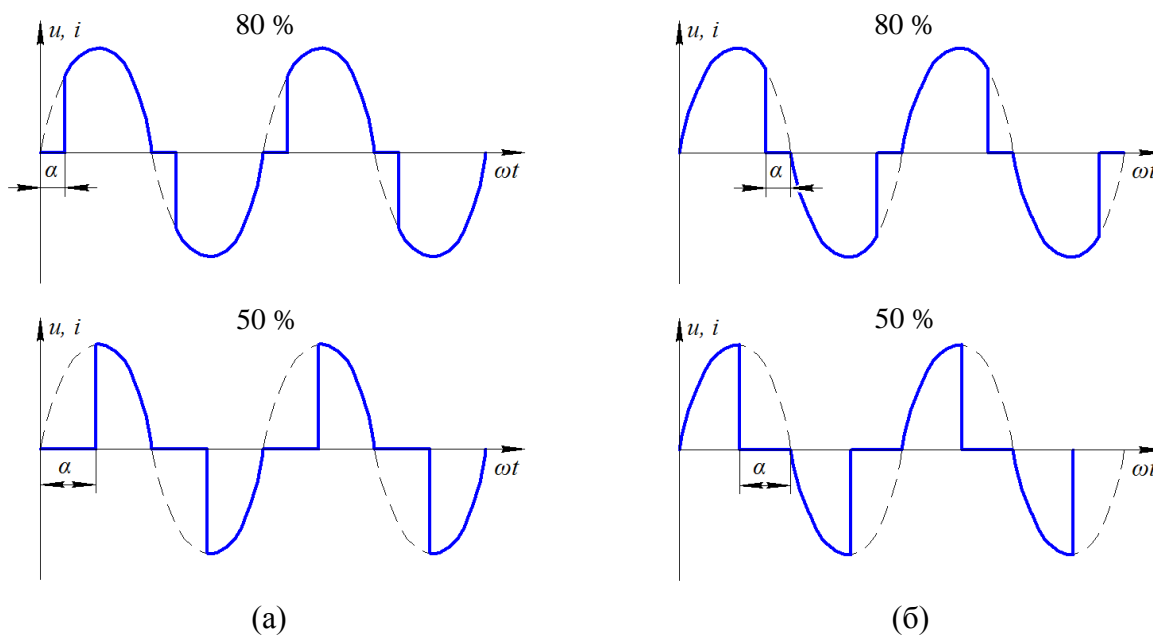


Рис. 2. Пример работы диммера с пропуском 80 и 50 % мощности ( $\alpha$  – угол отпирания или запираения симистора): отсечка по переднему фронту (а); заднему фронту (б)

Электронные диммеры делятся по выходной характеристике сигнала на диммеры с отсечкой по переднему фронту (leading edge) (см. рис. 2а) и диммеры с отсечкой по заднему фронту (falling edge) (см. рис. 2б). В первом случае на нагрузку подается остаток полуволны при срезанном начале, что приводит к наведению помех в электрической сети. Во втором случае создается меньше помех. Для светодиодных светильников больше подходит второй вариант, и управление осуществляется по току, а не по напряжению для плавного и эффективного диммирования.

Производители драйверов и ЭПРА не скрывают, что устройства являются источниками высших гармонических составляющих тока и напряжения, т.е. создают несинусоидальные помехи в питающей сети [6–8]. На рис. 3 представлена характеристика изменения THD – коэффициента нелинейных искажений, что в первом приближении соответствует коэффициенту гармонических составляющих.

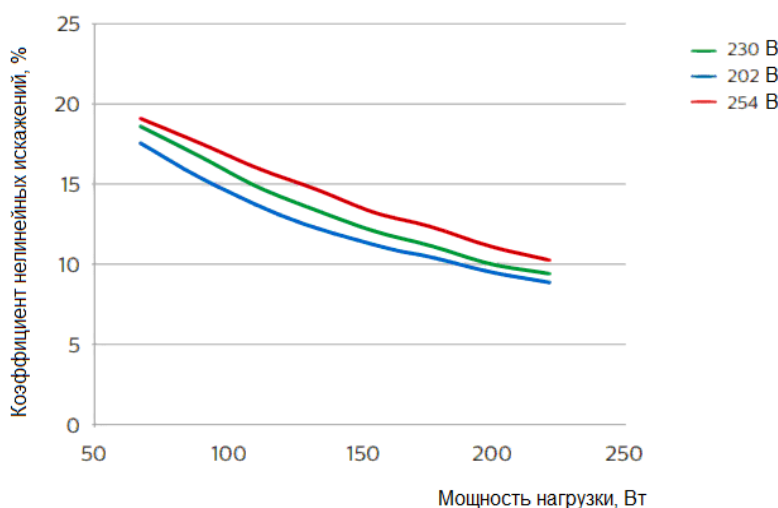


Рис. 3. Изменение нелинейных искажений, вносимых в питающую сеть, драйвером для светодиодного светильника [6]

Для комплексного понимания влияния диммирования на энергосбережение приведем характеристики КПД (рис. 4) и коэффициента мощности (рис. 5).

Несмотря на создание несинусоидальных искажений в питающей сети, диммирование позволяет экономить электроэнергию, снижая мощность светильника и, соответственно, световой поток и освещенность. Снижать световой поток можно в моменты малой интенсивности движения в ночные часы, а в вечернее время можно использовать необходимую мощность для создания комфортного и безопасного освещения.

Применение диммирования для светильников с лампами ДНаТ способно дать экономию электроэнергии до 42 % [9], для светодиодных светильников – до 70 % [14]. У последних заявленный показатель получается за счет применения автотрансформаторного диммирования (25–30 %) при снижении напряжения в питающей сети светильников, а также адресного диммирования (40–45 %).

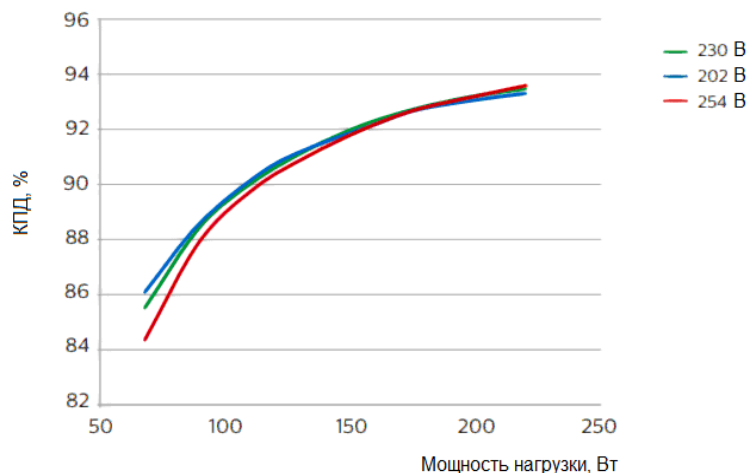


Рис. 4. Изменение КПД драйвера для светодиодного светильника [6]

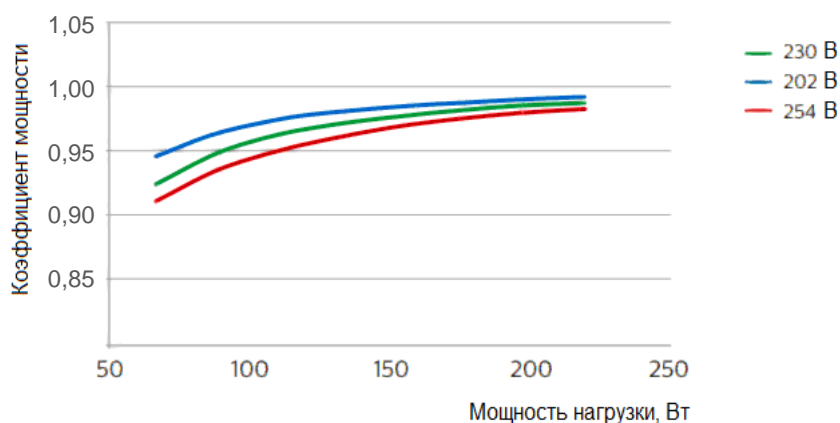


Рис. 5. Изменение коэффициента мощности драйвера для светодиодного светильника [6]

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Освещение дорог общего пользования и автомагистралей является неотъемлемой частью успешного экономического функционирования и развития городов и страны в целом. В темное время суток освещение обеспечивает безопасность участникам дорожного движения и снижает аварийность.

Потребляемая мощность освещения достигает 40 % от потребляемой мощности города. Таким образом, вопрос повышения энергоэффективности наружного освещения в настоящее время актуален.

Снижение расхода электроэнергии на освещение достигается несколькими путями при соблюдении требований нормативных документов:

1. Применение светодиодных светильников обеспечивает экономию до 25–50 % электроэнергии, если сравнивать со светильниками на газоразрядных лампах.

2. Модернизация системы управления освещением – переход от группового регулирования к адресному, внедрение датчиков освещенности, датчиков интенсивности потока и скорости движения, метеорологических датчиков – может дать экономию при диммировании светильников с газоразрядными лампами ДНаТ до 42 %, а со светодиодами – до 45 % от установленной мощности.

Выбор пути сокращения расхода электроэнергии в каждом конкретном случае должен быть экономически обоснован и осуществляться с учетом перспективы и окупаемости проекта.

Важно отметить, что электронная пускорегулирующая аппаратура газоразрядных ламп и драйверы светодиодных светильников с диммированием освещения являются источниками электромагнитных помех, т.е. источником нелинейных искажений в питающей сети. Нелинейные искажения связаны с генерацией высших гармоник тока и напряжения, которые негативно влияют на питающую сеть, ускоряют старение изоляции проводов и увеличивают потери мощности. Для получения конкретных цифр необходимы дополнительные исследования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалова Т.В., Афанасьев О.В. Влияние освещенности и яркости проезжей части на безопасность дорожного движения в городах в темное время суток // *Журнал ПНИПУ. Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2013. № 2. С. 61–71.
2. Недосекина В.В., Айыдов Д.Н. Анализ влияния уличного освещения на ДТП // *Символ науки*. 2018. № 7. С. 38–41.
3. Семенова Н.Г., Валиуллин К.Р. Интеллектуальная система энергоэффективного управления уличным освещением на основе нейросетевых технологий // *Вестник ОГУ. Информатика, вычислительная техника и управление*. 2015. № 4 (179). С. 183–188.
4. Васильев А. Светодиодные светильники на дорогах класса А1 и скоростных автомагистралях. URL: <https://www.elec.ru/publications/osveschenie/1595/> (дата обращения: 20.05.2022).
5. Уличный светодиодный светильник // *Lightcomplect*. URL: [https://lightcomplect.ru/catalog/ulichnye\\_svetilniki\\_standard/ulichnyy\\_svetodiodnyy\\_svetilnik\\_lc\\_universal\\_200vt\\_lira\\_28\\_000lm\\_5000k\\_ip65\\_120\\_kh\\_120\\_150\\_kh\\_55\\_/](https://lightcomplect.ru/catalog/ulichnye_svetilniki_standard/ulichnyy_svetodiodnyy_svetilnik_lc_universal_200vt_lira_28_000lm_5000k_ip65_120_kh_120_150_kh_55_/) (дата обращения: 20.05.2022).
6. Philips Xantium LED driver datasheet // *Philips*. URL: [https://www.docs.lighting.philips.com/en\\_gb/oem/download/xitanium/Datasheet-Xi-LP-220W-0.3-1.05A\\_S1\\_230V\\_I230\\_929001424480.pdf](https://www.docs.lighting.philips.com/en_gb/oem/download/xitanium/Datasheet-Xi-LP-220W-0.3-1.05A_S1_230V_I230_929001424480.pdf) (дата обращения: 20.05.2022).
7. Constant current mode LED driver ELG-240-C series // *MEAN WELL*. URL: <https://www.meanwell.com/webapp/product/search.aspx?prod=ELG-240-C> (дата обращения: 20.05.2022).
8. ЭПРА для наружного освещения // *Philips*. URL: <https://www.lighting.philips.ru/prof/lighting-electronics/hid2/hid-electronic-outdoor> (дата обращения: 20.05.2022).
9. Васильев А. Диммирование «непокорных» ламп // *ALB*. URL: <https://www.alb.ru/articles/dimmirovaniye-nerokornykh-lamp/> (дата обращения: 20.05.2022).
10. Сравнение энергоэффективных решений для освещения // *ЭСКО СВЕТ*. URL: <http://esnl.ru/svetonomika/stati/sravnienie-energoeffektivnykh-resheniy-dlya-osveshcheniya-avtomagistraley.php> (дата обращения: 20.05.2022).
11. Системы автоматического управления наружным освещением // *Энергосовет*. URL: <http://www.energsovet.ru/entech.php?idd=108> (дата обращения: 20.05.2022).
12. Системы дорожного мониторинга // *Минимакс-94*. URL: <https://mm94.ru/catalog/sistemy-dorozhnogo-monitoringa/> (дата обращения: 20.05.2022).
13. Кулон. Автоматизированная система управления наружным освещением. URL: <https://kulon.su/upload/iblock/905/p4pxkp232j3nv6to22njs0b5duoji5xb/КаталогАСУНОКУЛОН.pdf> (дата обращения: 20.05.2022).
14. Светодиодный светильник, или Свет на дорогах должен быть «умным» // *ИСУП*. 2016. № 5 (65). URL: <https://isup.ru/articles/6/9870/> (дата обращения: 20.05.2022).

15. Интеллектуальные системы освещения в городском пространстве. Использование систем Wi-Fi // *Galad. Международная светотехническая корпорация*. URL: <https://galad.ru/helpful/articles/1426956/> (дата обращения: 20.05.2022).
16. Индивидуальное управление освещением на дороге // *Кулон*. URL: <https://kulon.ru/solutions/individual-control-of-lighting-on-the-highway/> (дата обращения: 20.05.2022).
17. Димминг – способ эффективного энергосбережения или источник реальных проблем? // *Время электроники*. URL: <https://russianelectronics.ru/dimming-sposob-effektivnogo-energosberezheniya-ili-istochnik-realnyh-problem/> (дата обращения: 20.05.2022).

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

*ХАВАЗОВ Тахир Шабарович* – магистрант, Тверской государственный технический университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: 89607182380@mail.ru

*КРУПНОВ Андрей Владимирович* – старший преподаватель кафедры электроснабжения и электротехники, Тверской государственный технический университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: AV.Krupnov@yandex.ru

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Хавазов Т.Ш., Крупнов А.В. Повышение энергоэффективности в системе освещения автомобильных дорог // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2022. № 4 (16). С. 64–72.

---

### IMPROVING ENERGY EFFICIENCY IN THE HIGHWAY LIGHTING SYSTEM

*T.Sh. Khavazov, A.V. Krupnov*  
*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** This article presents and discusses ways to improve the energy efficiency of lighting transport roads. The expected assessment of energy saving as a result of the transition to LED lamps, the use of individual dimming is given. The question of the effect of dimmers on the quality of electricity is touched upon.

**Keywords:** dimming, energy saving, energy efficiency, lighting of transport roads, electricity quality, LED lamps.

#### REFERENCES

1. Konovalova T.V., Afanasyev O.V. The influence of illumination and brightness of the carriageway on road safety in cities at night. *Zhurnal PNIPU. Transport. Transportnyye sooruzheniya. Ekologiya*. 2013. No. 2, pp. 61–71. (In Russian).
2. Nedosekina V.V., Ayydov D.N. Analysis of the influence of street lighting on road accidents. *Simvol nauki*. 2018. No. 7, pp. 38–41. (In Russian).
3. Semenova N.G., Valiullin K.R. Intelligent system of energy-efficient control of street lighting based on neural network technologies. *Vestnik OGU. Informatika, vychislitel'naya tekhnika i upravlenie*. 2015. No. 4 (179), pp. 183–188. (In Russian).
4. Vasiliev A. LED lamps on A1 class roads and expressways. URL: <https://www.elec.ru/publications/osveschenie/1595/> (date of access: 20.05.2022). (In Russian).

5. Street LED lamp [Electronic resource]. *Lightcomplect*. URL: [https://lightcomplect.ru/catalog/ulichnye\\_svetilniki\\_standard/ulichnyy\\_svetodiodnyy\\_svetilnik\\_lc\\_universal\\_200vt\\_lir\\_a\\_28\\_000lm\\_5000k\\_ip65\\_120\\_kh\\_120\\_150\\_kh\\_55\\_/](https://lightcomplect.ru/catalog/ulichnye_svetilniki_standard/ulichnyy_svetodiodnyy_svetilnik_lc_universal_200vt_lir_a_28_000lm_5000k_ip65_120_kh_120_150_kh_55_/) (date of access: 20.05.2022). (In Russian).
6. Philips Xantium LED driver dataset. *Philips*. URL: [https://www.docs.lighting.philips.com/en\\_gb/oem/download/xitanium/Datasheet-Xi-LP-220W-0.3-1.05A\\_S1\\_230V\\_I230\\_929001424480.pdf](https://www.docs.lighting.philips.com/en_gb/oem/download/xitanium/Datasheet-Xi-LP-220W-0.3-1.05A_S1_230V_I230_929001424480.pdf) (date of access: 20.05.2022). (In Russian).
7. Constant current mode LED driver ELG-240-C series. *MEAN WELL*. URL: <https://www.meanwell.com/webapp/product/search.aspx?prod=ELG-240-C> (date of access: 20.05.2022). (In Russian).
8. EPRA for outdoor lighting. *Philips*. URL: <https://www.lighting.philips.ru/prof/lighting-electronics/hid2/hid-electronic-outdoor> (date of access: 20.05.2022). (In Russian).
9. Vasiliev A. Dimming of «recalcitrant» lamps. *ALB*. URL: <https://www.alb.ru/articles/dimmirovanie-nepokornykh-lamp/> (date of access: 20.05.2022). (In Russian).
10. Comparison of energy-efficient solutions for lighting. *ESCO LIGHT*. URL: <http://esnl.ru/svetonomika/stati/sravnienie-energoeffektivnykh-resheniy-dlya-osveshcheniya-avtomagistralej.php> (date of access: 20.05.2022). (In Russian).
11. Automatic control systems for outdoor lighting. *Energosovet*. URL: <http://www.energosovet.ru/entech.php?id=108> (date of access: 20.05.2022).
12. Road monitoring systems. *Minimax-94*. URL: <https://mm94.ru/catalog/sistemy-dorozhnogo-monitoringa/> (date of access: 20.05.2022). (In Russian).
13. The pendant. Automated outdoor lighting control system. URL: <https://kulon.su/upload/iblock/905/p4pxkp232j3nv6to22njs0b5duoji5xb/CatalogASUNOPENDANT.pdf> (date of access: 20.05.2022) (In Russian).
14. LED lamp or light on the roads should be «smart». *ISUP*. 2016. No. 5 (65). URL: <https://isup.ru/articles/6/9870/> (date of access: 20.05.2022). (In Russian).
15. Intelligent lighting systems in urban space. The use of Wi-Fi systems. *Galad. International Lighting Corporation*. URL: <https://galad.ru/helpful/articles/1426956/> (date of access: 20.05.2022). (In Russian).
16. Individual lighting control on the road. *Pendant*. URL: <https://kulon.su/solutions/individual-control-of-lighting-on-the-highway/> (date of access: 20.05.2022). (In Russian).
17. Is dimming a way to effectively save energy or a source of real problems? *Time of electronics*. URL: <https://russianelectronics.ru/dimming-sposob-effektivnogo-energoberezheniya-ili-istochnik-realnyh-problem/> (date of access: 20.05.2022). (In Russian).

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*KHAVAZOV Tahir Shabarovich* – Graduate Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: 89607182380@mail.ru

*KRUPNOV Andrey Vladimirovich* – 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: AV.Krupnov@yandex.ru

#### CITATION FOR AN ARTICLE

Khavazov T.Sh., Krupnov A.V. Improving energy efficiency in the highway lighting system // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2022. No. 4 (16), pp. 64–72.



**ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ**

УДК 674.093

**ОБ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ОСАДКОВ,  
ВЫПАВШИХ В ТВЕРИ В 2016–2021 ГОДАХ****Ф.В. Качановский***Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*

© Качановский Ф.В., 2022

**Аннотация.** Выполнен статистический анализ динамики удельной электропроводности атмосферных осадков, выпавших в Твери в 2016–2021 годах. Подтверждено существование обратной корреляционной связи удельной электропроводности осадков, выпадающих в Твери, с показателем кислотности  $pH$  при удлинении ряда наблюдений на один год (с пяти до шести лет). Установлено формирование локального максимума удельной электропроводности, приходящееся на начало 2020 года.

**Ключевые слова:** удельная электропроводность, кислотность, атмосферные осадки, модель, временной ряд, тренд, циклическая компонента, сезонная компонента, случайная компонента, показатель кислотности  $pH$ .

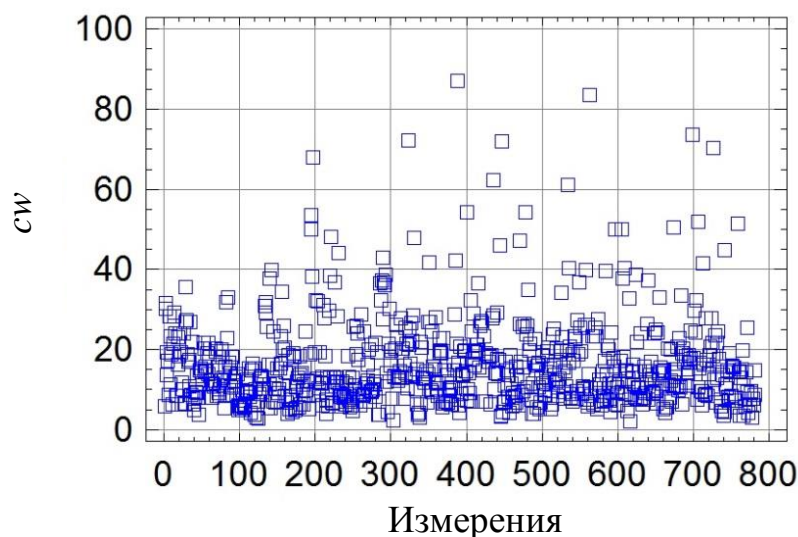
**DOI: 10.46573/2658-7459-2022-4-73-81**

Электропроводность атмосферных осадков – природный фактор, испытывающий на себе как природные, так и антропогенные воздействия. Исследование электропроводности осадков представляет не только научный, но и практический интерес и поэтому привлекает внимание специалистов разных профилей [1–9].

Наблюдения за электропроводностью осадков, выпадающих в Твери, проводятся лабораторией мониторинга окружающей среды Тверского центра по гидрометеорологии уже шесть лет (с 2016 года). В течение 2016–2021 годов произведено 782 измерения (в среднем 11 измерений в месяц). Удельная электропроводность осадков ( $cw$ ) измеряется в микросименсах на сантиметр (мкСм/см). Результаты измерений срочных значений  $cw$  показаны на рис. 1.

Одновременно с электропроводностью измеряется показатель кислотности осадков  $pH$  (безразмерная величина). Наблюдения за кислотностью осадков проводятся лабораторией с 1990 года. Срочные измерения обеих величин, электропроводности и кислотности, производятся одновременно, интервалы между измерениями изменяются от одних суток до двух декад в зависимости от сроков выпадения осадков.

В целях статистического анализа кислотности осадков срочные значения величины  $pH$ , наблюдаемые уже более 30 лет, преобразованы в среднемесячные значения  $ampH$  [3–5]. Это позволило сформировать из значений  $ampH$  равномерный временной ряд с одинаковыми постоянными (месячными) интервалами, что оказалось удобным для исследования связей кислотности осадков с основными метеофакторами.

Рис. 1. Результаты измерений  $cw$  в 2016–2021 годах

Аналогично срочные значения  $cw$  были преобразованы в среднемесячные значения  $atcw$ , из которых построены временные ряды [5]. Из-за непродолжительности наблюдений за электропроводностью ряды среднемесячных значений  $atcw$  имеют небольшую длину. В настоящей статье рассматриваются (сравниваются) ряды  $atcw$  длиной 4 года (2016–2019), 5 лет (2016–2020) и 6 лет (2016–2021), состоящие из 48, 60 и 72 членов соответственно.

В статье [5] нами был подробно (применительно к 4-летнему ряду наблюдений) обсужден вопрос о выборе модели тренда величины  $cw$  и, соответственно, величины  $atcw$ . В качестве моделей тренда рассматриваются линии регрессии. Из множества регрессионных моделей  $atcw$  были взяты для сопоставления три модели простой регрессии: линейная, экспоненциальная и логарифмическая.

Сопоставление показало, что для коротких (4-летних) рядов вполне подходящей является линейная модель тренда, которой соответствует коэффициент корреляции 0,224 66. В настоящей статье в связи с удлинением ряда наблюдений до 6 лет рассматриваются квадратические и кубические модели трендов  $cw$  и  $atcw$ . На рис. 2 и 3 для сравнения показаны квадратические регрессионные модели для рядов длиной 4, 5 и 6 лет ( $cw$  и  $atcw$ ).

Уравнения квадратических моделей тренда  $cw$  и  $atcw$  для рядов длиной 4, 5 и 6 лет соответственно имеют вид:

а) для  $cw$ :

$$\begin{aligned} cw_4 &= 13,833\ 1 + 0,010\ 958\ 2 \cdot n - 0,000\ 005\ 490\ 24 \cdot n^2; \\ cw_5 &= 14,456\ 7 + 0,007\ 144\ 16 \cdot n - 0,000\ 004\ 421\ 29 \cdot n^2; \\ cw_6 &= 14,905\ 7 + 0,005\ 419\ 7 \cdot n - 0,000\ 004\ 441\ 41 \cdot n^2; \end{aligned}$$

б) для  $atcw$ :

$$\begin{aligned} atcw_4 &= 14,155\ 6 + 0,109\ 514 \cdot n - 0,000\ 253\ 528 \cdot n^2; \\ atcw_5 &= 13,469\ 0 + 0,207\ 113 \cdot n - 0,002\ 566\ 58 \cdot n^2; \\ atcw_6 &= 13,514\ 1 + 0,197\ 772 \cdot n - 0,002\ 321\ 82 \cdot n^2. \end{aligned}$$

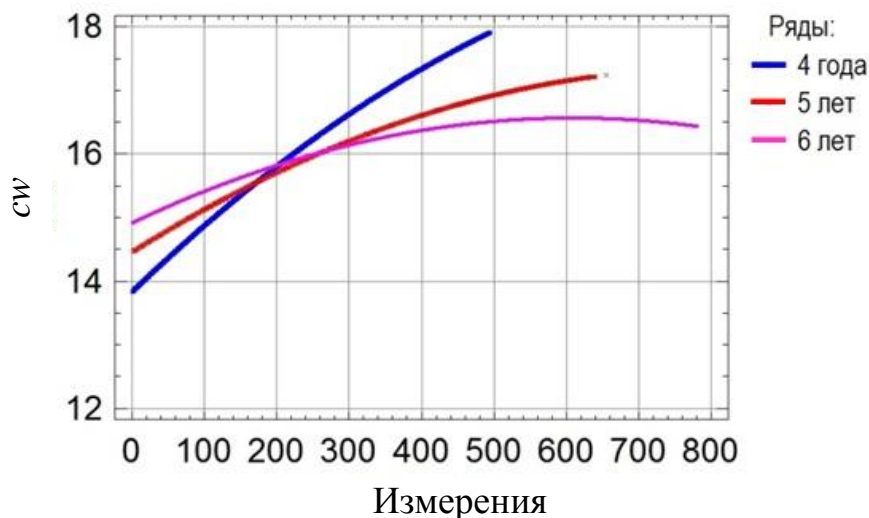


Рис. 2. Квадратические модели трендов  $sw$  для рядов длиной 4 года (2016–2019); 5 лет (2016–2020); 6 лет (2016–2021)

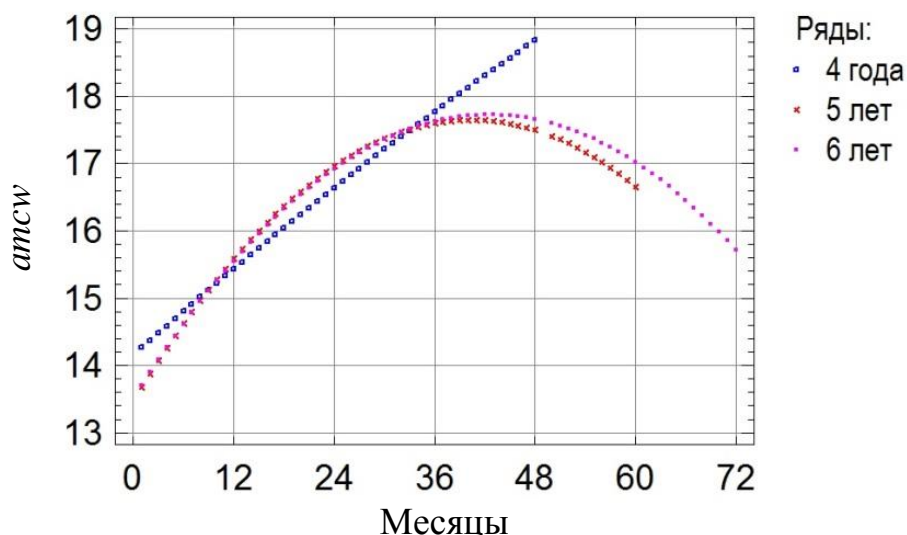


Рис. 3. Квадратические модели трендов  $атсв$  для рядов длиной 4 года (2016–2019); 5 лет (2016–2020); 6 лет (2016–2021)

Зависимость вида трендов  $sw$  от длины ряда проявляется в том, что чем продолжительнее ряд, тем более пологой оказывается возрастающая линия его тренда (см. рис. 2). При этом тренд 6-летнего ряда на 610-м измерении (1 января 2021 года) достигает максимума.

На начальном (примерно 3-летнем) отрезке линии трендов  $атсв$  5-летнего и 6-летнего рядов совпадают при замедляющемся росте (см. рис. 3). Тренд 5-летнего ряда достигает максимума на 40-м месяце, а тренд 6-летнего – на 43-м. Пройдя точку своего максимума, линия 5-летнего тренда понижается быстрее линии 6-летнего.

У самых коротких, 4-летних, рядов тренды  $sw$  и  $atcsw$  быстро возрастают почти линейно, что вызывает сомнение в их достаточной объективности при оценке поведения электропроводности в диапазоне 2016–2019 годов. Более спокойно ведут себя 5-летние ряды.

Для сопоставления поведения рядов показателя кислотности  $atpH$  и электропроводности  $atcsw$  осадков оказалось целесообразным построение кубического тренда  $atcsw$ , поскольку поведение кубического тренда  $atpH$  уже было подробно рассмотрено нами, например, в статье [8].

Уравнения кубических трендов  $atcsw$  и  $atpH$  для 6-летнего ряда осадков имеют вид:

$$atcsw = 15,1707 - 0,0663366 \cdot n + 0,00668415 \cdot n^2 - 0,00008233374 \cdot n^3;$$

$$atpH = 5,57107 + 0,0247177 \cdot n - 0,00111687 \cdot n^2 + 0,0000117996 \cdot n^3.$$

Сравнение кубических трендов  $atpH$  и  $atcsw$ , показанных на рис. 4, демонстрирует обратную связь этих величин. Коэффициент корреляции линейной связи трендов составляет  $-0,87164$ . Синхронное наступление глобальных (в 6-летнем интервале) экстремумов противоположного знака подтверждает установленную ранее [4] взаимозависимость кислотности и электропроводности атмосферных осадков: чем больше кислотность (т.е. меньше ее показатель  $pH$ ), тем больше электропроводность.

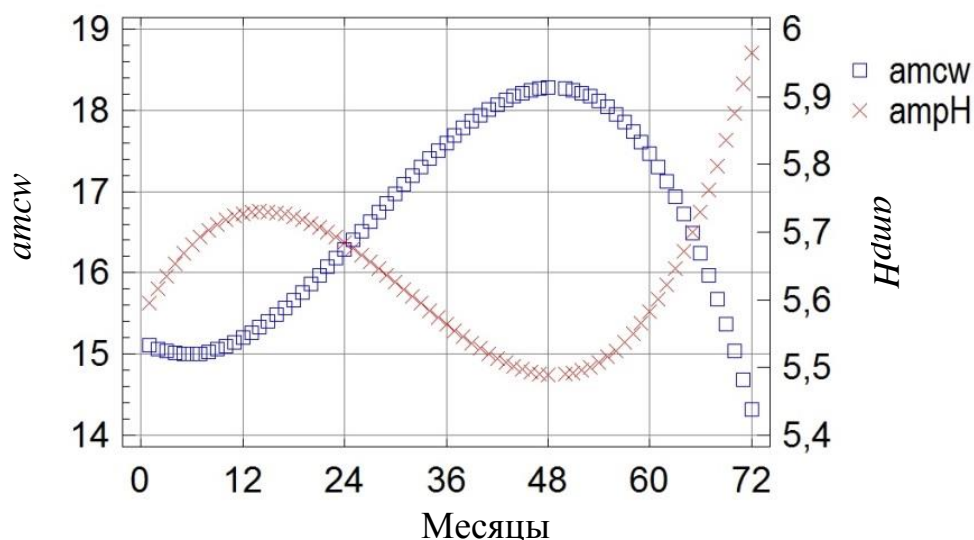
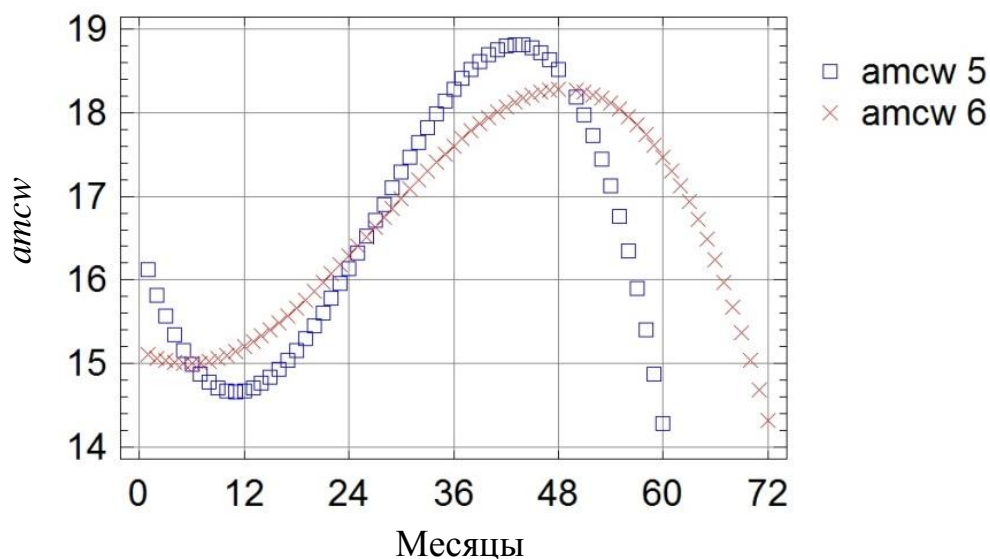


Рис. 4. Кубические тренды 6-летних рядов  $atcsw$  и  $atpH$  (2016–2021)

Удлинение ряда  $atcsw$  на 1 год (т.е. до 6 лет) привело к некоторому изменению общей формы ее кубической модели (рис. 5). Максимум (со значением 18,317) сместился с июля 2019 года на декабрь того же года (значение максимума стало равным 18,52).

Рис. 5. Кубические тренды 5-летнего и 6-летнего рядов  $amcw$ 

Минимумы сравниваемых рядов ведут себя противоположным образом: у 6-летнего ряда минимум (со значением 14,996) наступил в июне 2016 года, т.е. на 5 месяцев раньше, чем у 5-летнего ряда (со значением 14,658). Таким образом, тренд 6-летнего ряда стал заметно более расплывчатым во времени по сравнению с 5-летним рядом, а размах его уменьшился с 4,159 до 3,345.

Отмеченные различия сравниваемых рядов обусловлены, по нашему мнению, сильным влиянием длины ряда на вид кубического тренда. Они свидетельствуют о том, что использование кубической модели для анализа дает лишь приблизительное (предварительное) представление о действительном поведении электропроводности осадков. Эта модель может стать пригодной лишь при дальнейшем удлинении ряда наблюдений за электропроводностью  $sw$ . Можно предположить, что при дальнейшем удлинении ряда наблюдений будут происходить расплывание тренда и уменьшение его размаха.

Сравним циклические компоненты 5-летнего и 6-летнего рядов  $amcw$ , полученные сезонной декомпозицией этих рядов (рис. 6). Общий характер поведения циклических компонент весьма схож. Колебания как в сторону увеличения значений, так и в сторону их уменьшения происходят синхронно, размахи колебаний различаются незначительно. Удлинение ряда  $amcw$ , таким образом, не привело к сколько-нибудь заметному изменению периодичности циклов. Это указывает, что важно, на стабильность факторов, определяющих циклическую компоненту ряда  $amcw$  и, следовательно, ряда  $sw$  в целом. Цикл с наибольшим размахом колебаний соответствует временному интервалу от середины 2016 года до середины 2018 года. За ним следует более скромный цикл, который, как и предыдущий, длится около 2 лет. Провальные (сравнительно) значения циклической компоненты приходятся на 2020 год.

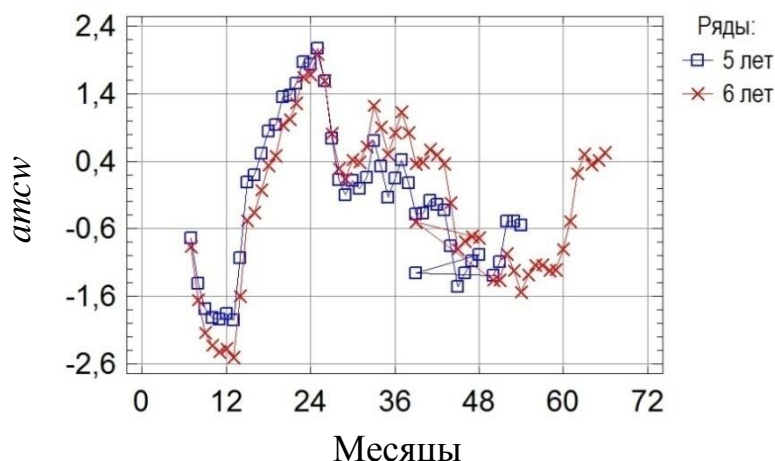


Рис. 6. Циклические компоненты 5-летнего и 6-летнего рядов  $atcsw$

Внутригодовая динамика удельной электропроводности осадков  $atcsw$  оценивалась по сезонным компонентам временных рядов длиной 5 и 6 лет [5]. Период сезонных колебаний  $p$  принят равным 12 месяцам. В качестве оценки сезонной компоненты использовано среднее значение  $\hat{s}_i$  отклонений значений  $atcsw$  от тренда  $\hat{t}r_i$  [3], т.е. положено, что для среднемесячной удельной электропроводности

$$\hat{s}_i = \frac{1}{m+1} \cdot \sum_{l=0}^m (atcsw_{i+lp} - \hat{t}r_{i+lp}),$$

где  $i = 1, \dots, p$ ;  $m + 1 = 5$  – число (годовых) периодов в ряду наблюдений для 5-летнего ряда и  $m + 1 = 6$  для 6-летнего.

Годовой ход сезонных компонент (месячных индексов) обоих рядов показан на рис. 7. Сходство общего характера динамики индексов проявляется отчетливо. Разница состоит в некоторой сглаженности хода индексов 6-летнего ряда по сравнению с таковой для 5-летнего ряда: значения локальных максимумов у 6-летнего ряда несколько меньше, а локальных минимумов – чуть больше, чем у 5-летнего. Это соответствует общей тенденции сглаживания параметров временных рядов при их удлинении и проявляется особенно отчетливо при сравнительно небольшой длине рядов.

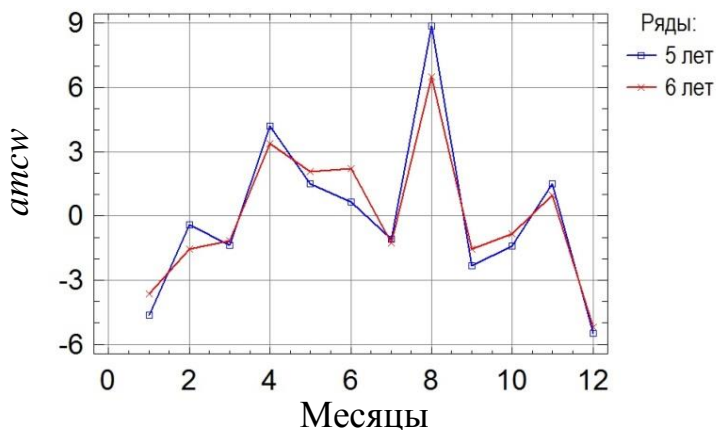


Рис. 7. Годовой ход сезонных компонент (месячных индексов)  $atcsw$  для рядов длиной 5 лет (2016–2020) и 6 лет (2016–2021)

На основе вышеизложенного можно сделать выводы:

1. Подтверждено существование обратной корреляционной связи удельной электропроводности осадков, выпадающих в Твери, с показателем кислотности  $pH$  при удлинении ряда наблюдений на 1 год (с 5 лет до 6).

2. Установлено формирование локального максимума удельной электропроводности  $am_{sw}$ , приходящееся на начало 2020 года и совпадающее по времени с минимумом показателя кислотности  $am_{pH}$ .

3. Внутригодовая динамика и локальная составляющая ряда удельной электропроводности при удлинении ряда наблюдений существенно не изменились.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Качество воды в Центральной Азии: база знаний: общие и суммарные показатели качества вод: электропроводность. URL: [http://www.cawaterinfo.net/water\\_quality\\_in\\_ca/hydrochem1.htm](http://www.cawaterinfo.net/water_quality_in_ca/hydrochem1.htm) (дата обращения: 14.04.2022).
2. Янченко Н.И. Особенности изменения величины  $pH$  и электропроводности снежного покрова в Братске // *Известия Томского политехнического университета. Химия и химические технологии*. 2014. Т. 325. № 3. С. 23.
3. Качановский Ф.В. Электропроводность осадков, выпадающих в Твери // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство, электротехника и химические технологии»*. 2019. № 3 (3). С. 65–71.
4. Качановский Ф.В. Связь электропроводности осадков, выпадающих в Твери, с метеофакторами // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство, электротехника и химические технологии»*. 2020. № 3 (7). С. 69–76.
5. Качановский Ф.В. Удельная электропроводность осадков, выпадающих в Твери // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство, электротехника и химические технологии»*. 2020. № 4 (8). С. 89–97.
6. Качановский Ф.В. Анализ особенностей электропроводности осадков, выпавших в Твери в 2016–2020 гг. // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство, электротехника и химические технологии»*. 2021. № 2 (10). С. 47–55.
7. Качановский Ф.В. Что происходит с электропроводностью осадков, выпадающих в Твери, при удлинении ряда наблюдений // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство, электротехника и химические технологии»*. 2021. № 4 (12). С. 66–73.
8. Качановский Ф.В. О кислотности осадков, выпадающих в Твери // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство, электротехника и химические технологии»*. 2020. № 2 (6). С. 66–74.
9. Голицын А.Н. Инженерная геоэкология. М.: Оникс. 2007. 202 с.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

*КАЧАНОВСКИЙ* Феликс Вячеславович – доцент кафедры гидравлики, теплотехники и гидропривода, Тверской государственной технической университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: felix.kachanovsky@yandex.ru



**БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА**

Качановский Ф.В. Об электропроводности осадков, выпавших в Твери в 2016–2021 годах // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2022. № 4 (16). С. 73–81.

**ABOUT OF THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY  
OF THE PRECIPITATION IN TVER DURING 2016–2021 YEARS**

*F.V. Kachanovsky*

*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** Analysis had made of the precipitation's electrical conductivity (atmospheric precipitation had fallen in Tver in 2016–2021 years). Time series models of the electrical conductivity were examined. Cubic model has considered as adequate.

**Keywords:** conductivity, acidity, acid rain, precipitation, model, time series, trend, cycle component, seasonal component, correlation.

**REFERENCES**

1. Water quality in Central Asia: knowledge base: general and summary indicators of water quality: electrical conductivity. URL: [http://www.cawaterinfo.net/water\\_quality\\_in\\_ca/hydrochem1.htm](http://www.cawaterinfo.net/water_quality_in_ca/hydrochem1.htm) (date of access: 14.04.2022). (In Russian).
2. Yanchenko N.I. Features of the change in the pH and electrical conductivity of the snow cover in Bratsk. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Himiya i himicheskie tekhnologii*. 2014. Vol. 325. No. 323. P. 23. (In Russian).
3. Kachanovsky F.V. Electrical conductivity of the precipitation in Tver. *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2019. No. 3 (3), pp. 65–71. (In Russian).
4. Kachanovsky F.V. Connection of electrical conductivity of precipitation falling in Tver with weather factors. *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2020. No. 3 (7), pp. 69–76. (In Russian).
5. Kachanovsky F.V. Electrical specific conductivity of the precipitation in Tver. *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2020. No. 4 (8), pp. 89–97. (In Russian).
6. Kachanovsky F.V. Analysis of the electrical conductivity of precipitation in Tver in 2016–2020. *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2021. No. 2 (10), pp. 47–55. (In Russian).
7. Kachanovsky F.V. What happens of a lengthening of time series for electrical conductivity of the precipitation in Tver. *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2021. No. 4 (12), pp. 66–73. (In Russian).
8. Kachanovsky F.V. About the acidity of precipitation falling in Tver. *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2020. No. 2 (6), pp. 66–74. (In Russian).
9. Golitsyn A.N. *Inzhenernaya geokologiya [Engineering geocology]*. Moscow: Oniks. 2007. 202 p.



**INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

*KACHANOVSKY Felix Vjacheslavovich* – Associate Professor of the Department of Hydraulics, Heat Engineering and Hydraulic Drive, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: felix.kachanovscky@yandex.ru

**CITATION FOR AN ARTICLE**

Kachanovsky F.V. About of the electrical conductivity of the precipitation in Tver during 2016–2021 years // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2022. No. 4 (16), pp. 73–81.

УДК 665.9.022

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ  
НА ОСНОВЕ КАРБОКСИЛАТНЫХ ЭФИРОВ**

*Ю.Ю. Курятников*

*Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*

© Курятников Ю.Ю., 2022

**Аннотация.** В статье представлены результаты экспериментальных исследований по определению эффективности суперпластификаторов на основе поликарбоксилатных эфиров, приведены механизмы их действия. Из исследуемых добавок SikaPlast E4 является наиболее универсальной для товарных бетонных смесей, поскольку позволяет получить высокую сохраняемость, большую раннюю прочность, а также экономически обоснована.

**Ключевые слова:** суперпластификатор, механизм действия, поликарбоксилатный эфир, водоредуцирующий эффект.

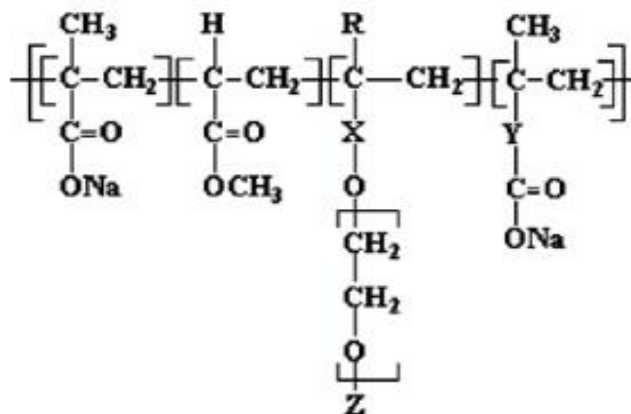
**DOI: 10.46573/2658-7459-2022-4-81-86**

**ВВЕДЕНИЕ**

К настоящему моменту известно множество различных добавок, используемых в строительстве при возведении сооружений различного назначения. Прогресс не стоит на месте, и постепенно широко известные модификаторы замещаются еще более новыми видами добавок комплексного действия. В настоящее время можно выделить три основных класса пластифицирующих добавок, используемых в промышленности строительных материалов: соединения на основе технических лигносульфонатов (ЛСТ); меламинформальдегид (СМФ) или нафталинформальдегид (СНФ); поликарбоксилатные эфиры (ПКС).

Добавки первых двух групп обладают линейной молекулярной структурой. Их условно можно отнести к предыдущему поколению пластификаторов. Механизм действия этих добавок основывается на электростатическом отталкивании за счет хемосорбции молекул пластификатора на поверхности частиц цементного клинкера и образования двойного электрического слоя, что приводит к смещению значений  $\zeta$ -потенциала в более электроотрицательную область и способствует диспергированию системы. Однако через

короткое время с ростом продуктов гидратации на поверхности зерен цемента происходит резкое снижение его диспергирующей эффективности и, как следствие, ухудшение подвижности бетонной смеси. В отличие от ЛСТ, СМФ и СНФ, ПКС обладают разветвленной структурой и состоят из основной поликарбоксильной цепи, а также боковых полиэфирных ответвлений (рисунок). Такое строение обеспечивает частицам цемента электростатическое и стерическое (пространственное) отталкивание. Наличие ионного заряда основной цепи необходимо для адсорбции поликарбоксилата на поверхности цементных зерен и формирования электростатического эффекта, тогда как боковые цепочки молекулы обеспечивают стерическое отталкивание, что усиливает и удлиняет диспергирующее действие [1, 2].



Структура ПКС

На сегодняшний день наиболее хорошо исследован суперпластификатор С-3. К отрицательным свойствам ПКС относят нерегулируемое воздухововлечение, которое достигает 5 % и более, что при получении высокофункциональных и морозостойких бетонов должно строго контролироваться. Для получения высокофункциональных и быстротвердеющих бетонов чаще всего совместно с ПКС используют тонкодисперсные пуццолановые добавки, такие как микрокремнезем (МК), белая сажа, тонкоизмельченные доменные шлаки и метакраолин (МТК). Изучение особенностей адсорбции ПКС цементными минералами и микрокремнеземом показало, что для цемента наиболее эффективными являются эфиры метакриловой кислоты, а микрокремнезем лучше разжижается простыми аллиловыми эфирами. При использовании в высокофункциональных бетонах метакраолина в качестве активатора гидратации цемента также отмечается, что не все ПКС могут быть эффективны. Метакраолин, являясь обезвоженным продуктом, полученным обжигом краолиновой глины, довольно активно поглощает некоторые ПКС и снижает их эффективность. Но особенно активно снижает эффективность ПКС присутствие в мелких заполнителях глинистых и илистых примесей. Кроме того, что глинистые примеси значительно снижают эффективность суперпластификаторов, их присутствие в заполнителях может привести к снижению прочности, долговечности, увеличению усадок в бетонах, в том числе и высокофункциональных. Следовательно, при применении в производстве бетонов поликарбоксилатных суперпластификаторов необходимо проводить тщательный контроль песков по виду и содержанию в них глинистых минералов [3].

В работе [4] исследовано влияние различных суперпластификаторов (Д-11, С-3, «Полипласт СП-3», «Супранафт», «Мурапласт ФК 88 (050)», «Полипласт СП-4», Sika ViscoCrete 5-800, SikaPlast 2135) на свойства цементно-песчаных растворов. Наиболее заметное влияние на прочность растворов оказывают добавки «Полипласт СП-3» и Sika ViscoCrete 5-800. В последние годы для цементных бетонов и растворов разработан ряд эффективных гиперпластификаторов на основе поликарбоксилатных полимеров: Melment F10, Melflux 1641F, Melflux 2651F и др. Эти гиперпластификаторы позволяют обеспечить получение качественно нового эффекта и снизить водопотребность цементных систем более чем до 40 % [5].

Большой интерес представляют водоредуцирующие добавки компании BASF: MasterRheobuild 1000 (на основе нафталинсульфоната, далее, СП 1), MasterGlenium116 (на основе ПКС, СП 2), MasterGlenium ACE 430 (на основе эфира поликарбоксилата, СП 3), MasterPozzolith MR55 (на основе ЛСТ, СП 4) [6]. Добавки поликарбоксилатной природы (СП 2, СП 3) обладают большим водоотнимающим действием. С их помощью становится возможным добиться сокращения В/Ц с 32 до 24,5 %, что весьма существенно. Добавки СП 1 и СП 4 не столь эффективны в этом плане. Они дают возможность снизить В/Ц с 32 % максимум до 27 %, что в целом тоже является приемлемым результатом.

Использование ЛСТ в качестве пластифицирующей добавки может также способствовать повышенному воздухоовлечению, увеличивать пористость системы и снижать прочностные характеристики. Кроме того, ЛСТ (как отходы производства целлюлозно-бумажных комбинатов) не обладают постоянным химическим составом и содержат различные примеси, вследствие чего бетон не имеет стабильных свойств. Напротив, ПКС производят путем регулируемого синтеза, он обладает значительно большей однородностью состава, что обеспечивает высокую стабильность его эксплуатационных характеристик [7].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Нами выполнены экспериментальные исследования по определению эффективности суперпластификаторов на основе ПКС: SikaPlast E4, «Поликон R-301» и «Вега 700.441». В качестве вяжущего использовали портландцемент ЦЕМ I 42,5Н ЖИ АО «Мордовцемент»; песок Мк 2,31; щебень природный фракции 5–20 мм. Изготовление образцов и испытания выполнялись по ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам». Оценка эффективности добавок проводилась по ГОСТ 30459-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности».

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты исследований представлены в табл. 1 и 2. Дозировки добавок подбирались по оптимальному водоредуцирующему эффекту и экономической целесообразности. Минимальное В/Ц-отношение бетонной смеси получили на добавке «Поликон R-301». При этом наблюдаются максимальная плотность бетонной смеси и высокие показатели прочности на сжатие в возрасте 7 и 28 суток. Добавки SikaPlast E4 и «Вега 700.441» имеют примерно одинаковые физико-механические показатели, которые уступают добавке «Поликон R-301». Если сравнивать сохраняемость удобоукладываемости бетонной смеси, то добавка «Поликон R-301» имеет наименьшее значение этого показателя – 180 мин. Максимальное значение сохраняемости удобоукладываемости

бетонной смеси имеет добавка «Вега 700.441» – 300 мин. Высокая сохраняемость позволяет использовать для монолитного домостроения бетонную смесь с «Вега 700.441» в качестве товарного бетона. В целом применение данных поликарбоксилатов уменьшает среднюю крупность пор в бетоне, снижает открытую интегральную пористость, повышая среднюю плотность, что также усиливает морозостойкость и водонепроницаемость бетонов.

Таблица 1

Физико-механические свойства бетона в зависимости от вида добавки

№	Добавка	Содержание, %	Состав бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>				Осадка конуса, см	В/Ц	Плотность б/с, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, МПа	
			Ц	П	Щ	В				7 суток	28 суток
1	SikaPlast E4	0,6	320	880	980	190	23	0,594	2 383	35,0	42,0
2	«Поликон R-301»	0,7	320	880	980	174	22	0,544	2 425	42,4	45,5
3	«Вега 700.441»	0,5	320	880	980	190	22	0,594	2 374	36,8	42,2

Таблица 2

Сохраняемость удобоукладываемости бетонной смеси в зависимости от вида добавки

№	Добавка, %	Время после окончания перемешивания, мин						Снижение ОК, см
		0	60	120	180	240	300	
1	SikaPlast E4 – 0,6	23	23	21	19	11	–	12
2	«Поликон R-301» – 0,7	22	22	21	17	–	–	5
3	«Вега 700.441» – 0,5	22	22	22	22	20	12	10

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применяя суперпластификаторы на основе ПКС, можно эффективно регулировать свойства бетонной смеси и бетона. Из исследуемых добавок SikaPlast E4 – это наиболее универсальная добавка для товарных бетонных смесей, так как она позволяет получить высокую сохраняемость при необходимости, большую раннюю прочность, имеет экономическое обоснование. Специфическая особенность новых типов пластифицирующих добавок (супер- и гиперпластификаторов) обусловлена строением их молекул и действием функциональных групп последних, обеспечивающих адсорбцию, а также длиной боковых цепей (как у поликарбоксилатов), вызывающих дополнительное стерическое отталкивание. Именно этот факт является определяющим, когда мы говорим о большей эффективности поликарбоксилатных добавок по сравнению с простыми пластификаторами.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Юхневский П.И. О механизме пластификации цементных композиций добавками // *Строительная наука и техника*. 2010. № 1–2. С. 64–69.
2. Тарасов В.Н., Гусев Б.В., Петрунин С.Ю., Короткова Н.П., Гарновесов А.П. Оценка эффективности применения поликарбоксилатных пластификаторов для производства бетона // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2018. Т. 4. № 1. С. 29–40.
3. Изотов В.С., Соколова Ю.А. Химические добавки для модификации бетона. М.: Палеотип. 2006. 244 с.
4. Зубова М.О. Мелкозернистые бетоны с применением базальтовой фибры и комплексных модифицирующих добавок. Дисс... канд. техн. наук. Волгоград. 2014. 21 с.
5. Несветаев Г.В., Давидюк А.Н. Влияние некоторых гиперпластификаторов на пористость, влажностные деформации и морозостойкость цементного камня // *Строительные материалы*. 2010. № 1. С. 44–46.
6. Корчунов И.В., Торшин А.О., Перепелицына С.Е., Потапова Е.Н. Действие добавок нового поколения на свойства цемента // *Успехи в химии и химической технологии*. 2018. Т. XXXII. № 2. С. 94–96.
7. Тарасов В.Н., Гусев Б.В., Петрунин С.Ю., Короткова Н.П., Гарновесов А.П. Оценка эффективности применения поликарбоксилатных суперпластификаторов для производства бетона // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2018. Т. 4. № 1. С. 1–12.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ**

*КУРЯТНИКОВ Юрий Юрьевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, Тверской государственной технической университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: yuriy-k@yandex.ru

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА**

Курятников Ю.Ю. Эффективность суперпластификаторов нового поколения на основе карбоксилатных эфиров // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2022. № 4 (16). С. 81–86.

---

**THE EFFECTIVENESS OF NEW GENERATION SUPERPLASTICIZERS  
BASED ON CARBOXYLATE ESTERS**

*Y.Y. Kuryatnikov*

*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** The article presents the results of experimental studies to determine the effectiveness of superplasticizers based on polycarboxylate esters, the mechanisms of their action are given. Of the studied additives, SikaPlast E4 is the most versatile for commercial concrete mixes, as it allows for high preservation, high early strength, and is also economically justified.

**Keywords:** superplasticizer, mechanism of action, polycarboxylate ether, water-reducing effect.

**REFERENCES**

1. Yukhnevsky P.I. On the mechanism of plasticizing cement compositions with additives. *Stroitel'naya nauka i tekhnika*. 2010. No. 1–2, pp. 64–69. (In Russian).
2. Tarasov V.N., Gusev B.V., Petrunin S.Yu., Korotkova N.P., Garnovesov A.P. Performance assessment of polycarboxylate superplasticizers for concrete manufacturing. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*. 2018. Vol. 4. No. 1, pp. 29–40. (In Russian).
3. Izotov V.S., Sokolova Y.A. Himicheskie dobavki dlya modifikacii betona [Chemical additives for concrete modification]. Moscow: Paleotip. 2006. 244 p.
4. Zubova M.O. Fine-grained concrete with the use of basalt fiber and complex modifying additives. Cand. Diss. (Engineering). Volgograd. 2014. 159 p. (In Russian).
5. Nesvetaev G.V., Davidyuk A.N. Influence of some hyperplasticizers on porosity, moisture deformations and frost resistance of cement stone. *Stroitel'nye materialy*. 2010. No. 1, pp. 44–46. (In Russian).
6. Korchunov I.V., Torshin A.O., Perepelicyna S.E., Potapova E.N. The effect of new generation additives on the properties of cement. *Uspekhi v himii i himicheskoy tekhnologii*. 2018. Vol. XXXII. No. 2, pp. 94–96. (In Russian).
7. Tarasov V.N., Gusev B.V., Petrunin S.Yu., Korotkova N.P., Garnovesov A.P. Evaluation of the effectiveness of the use of polycarboxylate superplasticizers for the production of concrete. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*. 2018. Vol. 4. No. 1, pp. 1–12.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

*KURYATNIKOV Yury Yuryevich* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: yuriy-k@yandex.ru

**CITATION FOR AN ARTICLE**

Kuryatnikov Y.Y. The effectiveness of new generation superplasticizers based on carboxylate esters // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2022. No. 4 (16), pp. 81–86.

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

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

**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

*Главный редактор*

Гультияев В.И. – д.т.н., доцент ТвГТУ

*Ответственный секретарь*

Новиченкова Т.Б. – к.т.н., доцент ТвГТУ

*Члены редакционной коллегии:*

Алиферов А.И. – д.т.н., профессор НГТУ

Белов В.В. – д.т.н., профессор ТвГТУ

Березовский Н.И. – д.т.н., профессор Белорусского национального технического  
университета, г. Минск, Республика Беларусь

Болотов А.Н. – д.т.н., профессор ТвГТУ

Бронштейн Л.М. – к.х.н., с.н.с., химический факультет Индианского универси-  
тета, Блумингтон, США

Ковалев К.Л. – д.т.н., профессор МАИ

Корнеев К.Б. – к.т.н., доцент ТвГТУ

Косивцов Ю.Ю. – д.т.н., профессор ТвГТУ

Макаров А.Н. – д.т.н., профессор ТвГТУ

Матар П.Ю. – к.т.н., HDR, профессор Ливанского университета, Beirut, Ливан

Матвеева В.Г. – д.х.н., профессор ТвГТУ

Назарова М.Ю. – д.т.н., профессор НИУ БелГУ

Петропавловская В.Б. – д.т.н., доцент ТвГТУ

Самченко С.В. – д.т.н., профессор НИУ МГСУ

Севастьянов А.А. – к.т.н., доцент НГТУ им. Р.Е. Алексева

Сульман М.Г. – д.х.н., профессор ТвГТУ

Трещев А.А. – д.т.н., профессор ТулГУ

Чернышева Н.В. – д.т.н., профессор БГТУ им. В.Г. Шухова

Шифрина З.Б. – д.х.н., заведующая лабораторией макромолекулярной химии,  
Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН

Ясинская Н.Н. – д.т.н., доцент Витебского государственного технологического  
университета, г. Витебск, Республика Беларусь

**ВЕСТНИК ТВЕРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»

Научный рецензируемый журнал  
№ 4 (16), 2022

Редактор С.В. Борисов  
Корректор Я.А. Петрова

---

Дата выхода в свет 30.12.2022

---

Редакционно-издательский центр  
Тверского государственного технического университета  
Адрес издателя: 170026, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22