

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] № 5



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1955 г.

WWW.RIFSM.RU WWW.JOURNAL-CM.RU МАЙ 2022 г. (802)



ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия»



**Керамзит и керамзитобетон
для Западной Сибири,
Дальнего Востока,
освоения Крайнего Севера и Арктики,
сохранения вечной мерзлоты**



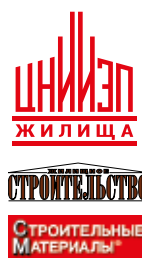
WWW.VZKG.RU

Тюменская обл., Тюменский район, рабочий п. Винзили, ул. Вокзальная, 1А

E-mail: vzkg@mail.ru; тел. (3452) 72-84-84



Комитет Торгово-промышленной палаты РФ
по предпринимательству в сфере строительства
АО «ЦНИИЭП жилища – институт комплексного проектирования
жилых и общественных зданий» (АО «ЦНИИЭП жилища»)
Объединенная редакция научно-технических журналов
«Жилищное строительство» и «Строительные материалы»®



XII Международная научно-практическая конференция «InterConPan-2022: индустриальное домостроение для комплексной застройки»

InterConPan-2022

International Conference of Large-panel Construction

28–29 июня 2022 г.
June 28–29, 2022

Конгресс-центр Торгово-промышленной палаты РФ
Москва, ул. Ильинка, 6



ПРОГРАММА:

1-й день

Пленарное заседание

Секции: «Архитектура индустриальных зданий
и комплексное развитие территорий»;
«Инновационная технология предприятий
индустриального домостроения»

2-й день

Выездная сессия

Технополис модульного домостроения
(завод по производству
крупногабаритных модулей)
ГК «МонАрх»

ТЕМАТИКА:

- Оборудование и технологии для модернизации предприятий индустриального домостроения
- Инновационные строительные системы
- BIM-технологии в сборном домостроении
- Современные бетоны, добавки и пигменты
- Архитектурно-планировочные решения
- Малоэтажное индустриальное строительство
- Решения фасадов и внутренней отделки
- Качественное и энергоэффективное индустриальное строительство
- Комплексное развитие территорий застройки

Производственный партнер



Постоянный партнер



Партнеры



По итогам конференции будут подготовлены тематические номера журналов «Жилищное строительство» № 10 и «Строительные материалы» № 10.
Представление статей и рекламных материалов до 01.10.2022 г.

www.interconpan.ru

Организационный комитет: +7 (499) 976-20-36, 976-22-08
kpd-conf@mail.ru; mail@rifsm.ru www.rifsm.ru

Адрес для корреспонденции: 127434, Москва, Дмитровское ш., д. 9, стр. 3, оф. 408, редакция журнала «Жилищное строительство»

Учредитель: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,
Адрес: 125319, г. Москва, ул. Черняховского,
д. 9, корп. 1, кв. 1
Издатель: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»
Адрес: 125319, г. Москва, ул. Черняховского,
д. 9, корп. 1, кв. 1
Свид. о регистрации ПИ № 77–1989
ISSN 0585-430X (Print) ISSN 2658-6991 (Online)
Входит в Перечень ВАК, РИНЦ,
Russian Science Citation Index
на платформе Web of Science
Адрес редакции: Россия, 127434, г. Москва,
Дмитровское ш., д. 9, стр. 3

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

№ 5

Основан в 1955 г.

(802) Май 2022 г.

Тел.: (499) 976-22-08, (499) 976-20-36 mail@rifsm.ru; www.rifsm.ru; www.journal-cm.ru

Керамзит и керамзитобетон: наука и практика

Керамзитобетон – материал для строительства качественного и безопасного жилья	4
И.В. НЕДОСЕКО, Д.А. СИНИЦИН, В.М. ГОРИН, П.В. САФОНОВ, Е.Ю. МИРОНЮК, В.В. КУЗЬМИН	
Легкий и особо легкий керамзит и керамзитобетон. Анализ традиционных и перспективных областей их использования в гражданском и промышленном строительстве	8
В.М. ГОРИН	
Керамзит и керамзитобетон в стройкомплексе страны	15
Р.Ф. САММАСОВ, Ю.Ф. ПАНЧЕНКО	
ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия» (Тюменская область). Строительные материалы и изделия из керамзита и керамзитобетона для гражданского и промышленного строительства от фундамента до крыши	19
ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» – лидер керамзитовой промышленности Беларуси и Европы (Информация)	22
С.А. ТОКАРЕВА, М.К. КАБАНОВА	
Утилизация крупнотоннажных отходов. Переработка, обезвреживание и получение полезной продукции	25
С.А. МИЗЮРЯЕВ, А.Ю. ЖИГУЛИНА, В.М. ГОРИН	
Искусственный пористый песок для легких бетонов	30
Н.Г. ЧУМАЧЕНКО, В.М. ГОРИН, В.В. ТЮРНИКОВ, М.Г. УПОРОВА	
Перспективы производства керамзитового гравия в Самарской области	34
К.С. ГАЛИЦКОВ, А.С. ФАДЕЕВ	
Структурный синтез технологического комплекса глиноподготовки в условиях нестационарности влажности сырья при производстве керамзита	40
А.А. МАТКИН, М.Я. БИКБАУ	
Дренарующий бетон КАПСИМЭТ и новое оборудование для строительства дорог и инженерных сооружений	45

Материалы и технологии

Т.А. МАЦЕЕВИЧ, Т.В. ЖДАНОВА, А.А. АСКАДСКИЙ	
Оценка модулей упругости смесей поливинилхлорида с рядом синтетических полимеров	52
Н.Н. ЧЕРНОУСОВ, Б.А. БОНДАРЕВ, В.А. СТУРОВА, А.Б. БОНДАРЕВ, А.А. ЛИВЕНЦЕВА	
Аналитические зависимости влияния плотности материала на прочность и деформативность конструкционного бетона при осевом сжатии	58

Результаты научных исследований

О.А. ПОВАРОВА	
Роль полифракционной шлаковой добавки в структуре мелкозернистого бетона	68
С.Н. СЕМЁНОВА, Г.И. ЯКОВЛЕВ, А.Ф. ГОРДИНА, Н.В. КУЗЬМИНА, И.С. ПОЛЯНСКИХ	
Свойства цементных матриц, модифицированных никель/углеродным нанокompозитом	73
Е.Г. МАЛЯВИНА, М.И. УРЯДОВ, А.Е. ЕЛОХОВ	
Расчет температурной обстановки, формирующейся в процессе лучисто-конвективного теплообмена в помещении здания с усиленной тепловой защитой	77

Founder of the journal: «STROYMATERIALY»
Address: 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,
Moscow, 125319, Russian Federation
Publisher: «STROYMATERIALY»
Advertising-Publishing Firm, OOO
Address: 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,
Moscow, 125319, Russian Federation
Registration certificate PI № 77-1989
ISSN 0585-430X (Print) ISSN 2658-6991 (Online)
Included in the list of journals of the Higher
Attestation Commission (Russia), Russian Science
Citation Index on the platform Web of Science
Editorial address: 9/3 Dmitrovskoye Highway,
127434, Moscow, Russian Federation

Monthly scientific-technical and industrial journal

STROITEL'NYE MATERIALY®

№ 5

Founded in 1955 (802) May 2022

Tel.: (499) 976-22-08, (499) 976-20-36 mail@rifsm.ru; www.rifsm.ru; www.journal-cm.ru

Claydite and claydite concrete: science and practice

Keramzitconcrete is a Material for the Construction of High-Quality and Safe Housing	4
I.V.NEDOSEKO, D.A. SINITSIN, V.M. GORIN, P.V. SAFONOV, E.Yu. MIRONIUK, V.V. KUZMIN	
Lightweight and Extra Lightweight Expanded Clay and Expanded Clay Concrete. Analysis of Traditional and Promising Areas of Their Use in Civil and Industrial Construction	8
V.M. GORIN	
Expanded Clay and Expanded Clay Concrete in the Construction Complex of the Country	15
R.F. SAMMASOV, Yu.F. PANCHENKO	
LLC «Vinzili Expanded Clay Gravel Plant» (Tyumen Region). Building Materials Made of Expanded Clay and Expanded Clay Concrete for Civil and Industrial Construction "From The Foundation to the Roof"	19
JSC "Keramzit Gravel Plant, Novolukoml" is the Leader of the Keramzit Industry in Belarus and Europe (Information)	22
S.A. TOKAREVA, M.K. KABANOVA	
Utilization of Large-Tonnage Waste. Processing, Neutralization and Obtaining Useful Products	25
S.A. MIZYURYAEV, A.Yu. ZHIGULINA, V.M. GORIN	
Artificial Porous Sand for Light Concretes	30
N.G. CHUMACHENKO, V.M. GORIN, V.V. TYURNIKOV, M.G. UPOROVA	
Prospects of Expanded Clay Gravel Production in Samara Region	34
K.S. GALITSKOV, A.S. FADEEV	
Structural Synthesis of the Technological Complex of Clay Preparation Under Conditions of Unsteady Humidity of Raw Materials in the Production of Expanded Clay	40
A.A. MATKIN, M.YA. BIKBAU	
Drainage Concrete KAPSIMET and New Equipment for the Construction of Roads and Engineering Structures	45

Materials and technologies

T.A. MATSEEVICH, T.V. ZHDANOVA, A.A. ASKADSKII	
Evaluation of Elastic Modulus of Mixtures of Polyvinyl Chloride with a Number of Synthetic Polymers	52
N.N. CHERNOUSOV, B.A. BONDAREV, V.A. STUROVA, A.B. BONDAREV, A.A. LIVENTSEVA	
Analytical Dependences of the Effect of Material Density on the Strength and Deformability of Structural Concrete under Axial Compression	58

Results of scientific research

O.A. POVAROVA	
The Role of a Polyfractive Slag Additive in the Structure of Fine-Grained Concrete	68
S.N. SEMYONOVA, G.I. YAKOVLEV, A.F. GORDINA, N.V. KUZMINA, I.S. POLYANSKIKH	
Properties of Cement Matrices Modified with Nickel-Carbon Nanocomposite	73
E.G. MALYAVINA, M.I. URYADOV, A.E. ELOHOV	
Calculation of Thermal Conditions Generated During the Radiant-Convective Heat Exchange Process in a Room of a Building with Enhanced Thermal Protection	77

Главный редактор:

ЮМАШЕВА Е.И.,

инженер-химик-технолог, почетный строитель России

Председатель редакционного совета:

РЕСИН В.И.,

д-р экон. наук, профессор, академик РААСН (Москва)

АЙЗЕНШТАДТ А.М.,

д-р хим. наук, профессор (Архангельск)

АСКАДСКИЙ А.А.,

д-р хим. наук, профессор (Москва)

БУРЬЯНОВ А.Ф.,

д-р техн. наук, директор Российской гипсовой ассоциации (Москва)

ВЕРЕЩАГИН В.И.,

д-р техн. наук, профессор (Томск)

ГОРИН В.М.,

канд. техн. наук, президент Союза производителей керамзита и керамзитобетона (Самара)

ЕРОФЕЕВ В.Т.,

д-р техн. наук, профессор, академик РААСН (Саранск)

КОРОЛЕВ Е.В.,

д-р техн. наук, профессор (Санкт-Петербург)

КОТЛЯР В.Д.,

д-р техн. наук, профессор (Ростов-на-Дону)

КРИВЕНКО П.В.,

д-р техн. наук, профессор (Украина)

ЛЕОНОВИЧ С.Н.,

д-р техн. наук, профессор (Беларусь)

ЛЕСОВИК В.С.,

д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент РААСН (Белгород)

МУРТАЗАЕВ С.-А.Ю.,

д-р техн. наук, профессор (Грозный)

НЕДОСЕКО И.В.,

д-р техн. наук (Уфа)

ПИЧУГИН А.П.,

д-р техн. наук, профессор (Новосибирск)

ПУХАРЕНКО Ю.В.,

д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент РААСН (Санкт-Петербург)

РУДАКОВ О.Б.,

д-р хим. наук, профессор (Воронеж)

ТРАВУШ В.И.,

д-р техн. наук, академик РААСН (Москва)

ФЕДОСОВ С.В.,

д-р техн. наук, профессор, академик РААСН (Иваново)

ФИШЕР Х.-Б.,

доктор-инженер (Германия)

ХОЗИН В.Г.,

д-р техн. наук, профессор (Казань)

ШЕБЛ С.М.,

д-р наук, профессор (Египет)

ШЛЕГЕЛЬ И.Ф.,

канд. техн. наук (Омск)

ШТАКЕЛЬБЕРГ Д.И.,

д-р техн. наук, профессор (Израиль)

ЯКОВЛЕВ Г.И.,

д-р техн. наук, профессор (Ижевск)

Ю ЖЯНГМЯО,

д-р философии (Китай, Гуанчжоу)

Editor-in-chief

YUMASHEVA E.,

engineer-chemist-technologist, Honorary Builder of Russia

Chairman of Editorial Board

RESIN V.,

Doctor of Science (Economy), Professor (Moscow)

AZENSHTADT A.,

Doctor of Sciences (Chemistry), Professor (Arkhangelsk)

ASKADSKIY A.,

Doctor of Science (Chemistry), Professor (Moscow)

BURYANOV A.,

Doctor of Science (Engineering), Director of the Russian Association of gypsum (Moscow)

VERESHCHAGIN V.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Tomsk)

GORIN V.,

Candidate of Science (Engineering), President of the Union of Haydite and Haydite Concrete Producers (Samara)

EROFEEV V.,

Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of RAACS (Saransk)

KOROLEV E.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (St. Petersburg)

KOTLYAR V.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Rostov-on-Don)

KRIVENKO P.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Ukraine)

LEONOVICH S.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Belarus, Minsk)

LESOVIK V.,

Doctor of Science (Engineering), Corresponding Member of RAACS (Belgorod)

MURTAZAEV S.-A.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Grozniy)

NEDOSEKO I.,

Doctor of Science (Engineering) (Ufa, Bashkortostan)

PICHUGIN A.,

Doctor of Science (Engineering), Professor, Member of the Russian Academy of Natural Science (Novosibirsk)

PUKHARENKO Yu.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (St. Petersburg)

RUDAKOV O.B.,

Doctor of Sciences (Chemistry), professor (Voronezh)

TRAVUSH V.,

Doctor of Science (Engineering), academician of RAACS (Moscow)

FEDOSOV S.,

Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of RAACS (Ivanovo)

FISHER H.-B.,

Doctor-Engineer (Germany, Weimar)

KHOZIN V.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Kazan)

SHEBL S.M.,

Doctor of Science, Professor (Egypt)

SHLEGEL I.,

Candidate of Science (Engineering), OOO «INTA-Stroy» (Omsk)

SHTACKELBERG D.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Israel)

YAKOVLEV G.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Izhevsk)

YU JIANGMIAO,

PhD / Associate Professor (China, Guangzhou)

Керамзитобетон – материал для строительства качественного и безопасного жилья



Обеспечение граждан России доступным, комфортным и безопасным жильем является приоритетной государственной задачей. Как известно, значительный вклад в показатели комфортности и безопасности зданий приносят строительные материалы, применяемые при их возведении. Не последнюю роль играют строительные материалы и при формировании технико-экономических показателей зданий.

*Мы попросили генерального директора НИИКерамзит, председателя Совета НО «Союз производителей керамзита и керамзитобетона» канд. техн. наук **Владимира Михайловича Горина** рассказать о современных критериях безопасности и энергетической эффективности жилых зданий, требованиях к строительным материалам, а также о месте и роли керамзита и керамзитобетона в современном строительстве.*

В обновленной «Стратегии национальной безопасности РФ», утвержденной Указом Президента РФ № 400 от 02.07.2021 г., предусмотрено «достижение целей государственной политики в сфере сбережения народа России путем повышения качества жилья».

Крупные пожары в ряде городов России наглядно показали, какую большую опасность для здоровья и жизни людей они представляют, какой экономический ущерб наносят.

Пользуясь неразберихой в техническом регулировании в строительном комплексе, либерализацией сертификации и подтверждения пригодности материалов для применения их в строительстве, недобросовестные производители стройматериалов изготавливают некачественную продукцию, дают недостоверную информацию об их свойствах.

В этих условиях проектировщики, строители, заказчики и эксперты не всегда могут объективно определить их пригодность для применения в строительстве в соответствии с нормативными требованиями технического регламента о безопасности зданий и сооружений, пожарной и санитарной безопасности.

Какие требования безопасности предъявляются к жилым зданиям?

Требования по безопасности жилых зданий определены Федеральным законом № 384-ФЗ от 30.12.2009 г. «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и соответствующими строительными, пожарными и санитарными нормами и правилами. Жилое здание должно быть долговечным, пожаробезопасным, энергоэффективным и построено с применением экологически чистых строительных материалов и изделий.

Как обеспечить безопасность проживания людей в жилых домах?

Жилище, в котором человек проводит значительную часть своей жизни, должно отвечать жест-

ким санитарно-гигиеническим требованиям. Жилое здание должно быть спроектировано и построено таким образом, чтобы при проживании и пребывании человека в здании не возникло вредного воздействия на него в результате физических, биологических, химических, радиационных и иных воздействий.

Есть ли какие-то нормативные документы по безопасности строительных материалов и изделий?

Россия вступила в ВТО без соответствующего технического регулирования безопасности строительных материалов и изделий. До сих пор нет Федерального закона «Технический регламент о безопасности строительных материалов и изделий». Межгосударственный технический регламент стран ЕврАзЭС «О безопасности зданий и сооружений, строительных материалов и изделий» также не принят. Из-за этого не выполнен Указ Президента РФ № 600 от 07.05.2012 г. «О мерах по обеспечению граждан РФ доступным и комфортным жильем и повышению качества жилищно-коммунальных услуг» по снижению стоимости 1 м² жилья до 20% за счет удешевления цены на основные строительные материалы и изделия. Сегодня для большинства граждан России жилье стало недоступным по цене.

Развитию промышленности строительных материалов и изделий не уделяется должного внимания, разработанная бывшим Министерством регионального развития РФ «Стратегия развития промышленности строительных материалов и индустриального домостроения до 2020 года» в ряде аспектов носила декларативный характер и дважды актуализировалась.

Недавно Министерство строительства и ЖКХ разработало новую комплексную «Стратегию развития строительной отрасли и ЖКХ до 2030 года» вместо «Стратегии инновационного развития строительной отрасли до 2030 года». Минпромторг РФ разработал свою «Стратегию развития промышлен-

ности строительных материалов до 2030 года». Будем надеяться, что Минпромторг РФ и Минстрой и ЖКХ выбрали правильные приоритеты развития строительной отрасли, в том числе промышленно-сти строительных материалов.

Какая стратегия развития производства безопасных строительных материалов должна быть?

На заседании Госсовета при Президенте по науке и образованию на тему «Новые вызовы и приоритеты развития науки и технологий в РФ» особое внимание Президент обратил на «вопросы качества жизни человека, а это — передовые медицинские технологии, производство здоровых продуктов питания, экология, безопасные строительные материалы для гражданского и промышленного строительства. Словом, это все то, что обеспечивает человеку долгую, комфортную, активную жизнь».

При разработке стратегии научно-технического развития России на долгосрочный период было сказано, что «это должен быть документ, базирующийся на наших существующих заделах, но при этом, безусловно, ориентированный в будущее».

Приоритетным направлением развития производства строительных материалов для гражданского и промышленного строительства должны быть комплексные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по применению в строительстве высококачественных, безопасных и экологически чистых строительных материалов, в частности легких бетонных изделий и конструкций, изготовленных с использованием природных и искусственных пористых заполнителей. Самым востребованным из них является керамзит (до 80% рынка РФ) за счет высоких физико-технических характеристик и доступности по цене.

Подъем керамзитового производства на качественно новый уровень и широкое применение керамзитобетона — долговечного, пожаробезопасного, энергоэффективного, экологически чистого строительного материала в строительстве — это наиболее реальный и эффективный путь реализации государственной программы «Доступное и комфортное жилье — гражданам России», и поэтому оно должно стать одним из приоритетных направлений дальнейшего развития промышленности строительных материалов страны.

Для обеспечения потребностей страны в керамзитовом гравии с заданными параметрами — легкого (с насыпной плотностью 100–250 кг/м³) для изготовления энергоэффективных стеновых блоков и панелей и прочного (с насыпной плотностью 600–1000 кг/м³) для легких высокопрочных керамзитобетонных изделий и конструкций взамен тяжелых железобетонных — необходимо провести модернизацию, в частности, действующих и простаивающих предприятий по производству керамзита и керамзитобетона.

Как строительные материалы и изделия проявляют свои качества?

Строительные материалы и изделия не являются конечной продукцией, предназначенной для потребителей, а проявляют свои свойства в конечной продукции строительства — зданиях и сооружениях. Поэтому главное требование к строительным материалам и изделиям состоит в том, чтобы они были пригодны для применения в строительстве и обеспечивали при их применении возможность выполнения требований безопасности зданий и сооружений.

Чрезвычайно важно использовать в жилищном строительстве материалы с гарантированной, подтвержденной многолетними исследованиями и практикой применения пожарной, экологической, химической и биологической безопасностью.

Так, например, научный центр Роспотребнадзора ФУГН ФНЦГ имени Ф.Ф. Эрисмана рекомендует, учитывая «высокую огнеопасность пенополистирола, исключить его использование в жилищном строительстве, детских и лечебно-профилактических учреждениях, учебных заведениях и т. д. (группа А). Недопустимо применение в жилищном строительстве полимерных материалов, оказывающих неблагоприятные воздействия на гигиенические условия проживания и здоровье жителей».

Какие основные характеристики предъявляются стеновым строительным материалам?

Основными характеристиками стеновых материалов являются:

— теплозащитные свойства, которые зависят не только от теплопроводности самого материала, но и от конструктивных особенностей стены, для изготовления которой этот материал был использован;

— долговечность и надежность в эксплуатации, обусловленная способностью сохранять исходные высокие показатели прочности и теплосопrotивления на весь период службы (для капитальных зданий до 100 лет);

— отсутствие экологической и биологической угрозы, отсутствие токсичных выделений на весь период долговременной эксплуатации, отсутствие разрушения с выделением мелкодисперсных пылевидных отходов, получающихся в результате старения и распада материала;

— пожаробезопасность и огнестойкость (способность сохранять достаточную конструктивную прочность в условиях пожара), а также отсутствие вредного токсичного газовыделения при пожаре; в результате повышается критический период, в течение которого возможно спасение людей;

— технологичность — отсутствие сложностей и неудобств при изготовлении конструкций при проведении строительных работ; сохранность при транспортировке;

— универсальность — пригодность для различных вариантов и систем, применяемых в современном

строительстве; возможность использования для высотного и малоэтажного строительства и, что очень важно, пригодность для промышленных методов строительства.

Какие строительные материалы, изделия и конструкции отвечают вышеуказанным требованиям?

Всем этим требованиям в полной мере отвечает керамзитобетон широкого спектра свойств: теплоизоляционный плотностью 200–500 кг/м³ классов по прочности В0,5–В2,0; конструкционно-теплоизоляционный плотностью 500–1400 кг/м³ классов по прочности В10–В15; конструкционный плотностью 1100–2000 кг/м³ классов по прочности В12,5–В60.

Потребителей больше интересует долговечность, пожаробезопасность и экологичность жилья?

При выборе стеновых материалов, помимо основных строительно-технических характеристик (теплопроводность, прочность, долговечность, стабильность показателей на весь период эксплуатации), имеет значение также технологичность материала, а именно удобство в работе, низкие энерго- и трудозатраты при изготовлении конструкции, пригодность для промышленных методов строительства. Наилучший вариант – заводское изготовление конструкций с последующей быстрой сборкой на стройплощадке.

При всем этом важнейшими критериями являются эколого-биологическая и пожарная безопасность, которые в настоящее время выдвигаются на передний план, а требования по этим показателям ужесточаются с каждым годом.

Долговечность, высокая экологичность и пожаробезопасность являются существенными аргументами в пользу керамзита и керамзитобетона. Эти материалы не горят и не выделяют токсичных газов в условиях пожара, а также в течение всего периода эксплуатации зданий. Это обусловлено самой технологией получения керамзита – высокотемпературным обжигом. Они обладают биостойкостью, не подвержены гниению. По огнестойкости керамзитобетон значительно превышает конструкции из тяжелых бетонов. В условиях пожара он не разрушается более длительное время. Пожаробезопасность – важнейшее преимущество керамзита и керамзитобетона, обусловленное высокой огнестойкостью и длительным сохранением конструкционной прочности в условиях пожара, что повышает шансы людей на спасение в экстремальных ситуациях и, кроме того, снижает затраты на последующий ремонт и восстановительные работы.

Благоприятный микроклимат и комфортные условия в жилых помещениях обеспечиваются также благодаря низкой эксплуатационной влажности керамзитобетона. Средняя установившаяся влажность для нормальных условий эксплуатации составляет для крупнопористого керамзитобетона 3–5%, для плотного керамзитобетона – 4–8%.

Какой опыт применения керамзита и керамзитобетона есть у нас в стране?

В 1960–1970-х гг. в СССР была создана мощная подотрасль промышленности строительных материалов по производству искусственного пористого заполнителя из глины – керамзитового гравия для изготовления легких бетонных изделий и конструкций, научную основу которой более 60 лет назад заложил институт НИИКерамзит. Керамзит послужил основой для развития промышленного домостроения, позволившего в свое время решить насущную жилищную проблему страны, сократить сроки и снизить стоимость строительства жилья.

В России было построено более 300 заводов по производству керамзита, в настоящее время из них работает около 140 предприятий. В каждом регионе от Калининграда до Чукотки были построены заводы по производству керамзитового гравия и керамзитобетонных изделий и конструкций.

Создан Союз производителей керамзита и керамзитобетона, который объединяет передовые предприятия отрасли, такие как ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия» (Тюменская обл.), ЗАО «Керамзит» (г. Рязань), ООО «Уфимская гипсовая компания» (Республика Башкортостан), АО «Керамзит» (г. Самара), ООО ПКФ «Спутник» (Самарская обл.), ООО «Завод керамзитового гравия» (Самарская обл, г. Октябрьск), АО «КСК» Ржевский» (Тверская обл.), ООО «Кушвинский керамзитовый завод» (Свердловская обл., г. Кушва), ООО «Курский завод строительного керамзита» (г. Курск), ЗАО «АББА» (Краснодарский край), ООО «ДСК «СУОР» (г. Новочебоксарск) и другие, выпускающие качественный керамзит для различных сфер применения.

В Союз также входит ведущее предприятие Европы ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» (Республика Беларусь, г. Новолукомль).

Какие преимущества имеет применение керамзитобетона в строительстве?

Применение керамзита и керамзитобетона позволяет в максимальной степени решить проблему интенсификации промышленного домостроения. Это наиболее надежное, проверенное практикой, технико-экономически выгодное направление для ускоренного возведения социально доступного жилья, пожаро- и экологически безопасного, соответствующего современным нормам по комфортности, теплозащите и долговечности.

Керамзит и керамзитобетон позволяют реализовать любые современные архитектурно-строительные системы и варианты строительства, в том числе быстровозводимого жилья с высоким уровнем пожарной и экологической безопасности, долговечного и комфортного как в городе, так и на селе.

Технико-экономическая эффективность керамзитобетона обусловлена следующими показателями:

– ускоренные темпы строительства – сокращение сроков строительства в 1,5–2 раза;

– сокращение массы строительных элементов и всего здания в 1,5 раза по сравнению с конструкциями из тяжелого бетона и кирпича, что дает существенную экономию на фундаментах и повышение этажности застройки;

– уменьшение трудоемкости и стоимости монтажных работ, снижение транспортных расходов в 1,5 раза;

– простота и технологичность изготовления однослойных панелей и блоков – стоимость их до 20% ниже многослойных панелей, а также стен из кирпича с фасадным утеплителем – до 30%;

– снижение общей стоимости зданий до 30%.

Что такое энергоэффективность стеновых строительных материалов?

Вопрос энергоэффективности при изготовлении стеновых материалов, безусловно, учитывается, при этом следует обратить внимание, что он включает две основные составляющие: энергозатраты при производстве материала, с одной стороны, и энергоэффективность в процессе эксплуатации – с другой.

Именно так следует давать оценку энергоэффективности с обязательным учетом энергоэффективности материала в процессе его службы. Чем продолжительнее срок службы стены без разрушения, без снижения теплозащитных характеристик, тем выше эксплуатационная энергоэффективность данного стенового материала.

Сравнительные оценки и многолетний опыт показывают, что стеновые материалы на основе керамзита обладают высокой долговечностью и стабильностью теплозащитных характеристик в процессе эксплуатации, что дает им преимущество при сравнении с другими материалами.

Какие требования должны выполняться для увеличения энергоэффективности зданий?

Энергетическая эффективность зданий тем выше, чем меньше здания потребляют энергии.

Согласно требованиям СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003» энергетическая эффективность зданий оценивается по величине потребляемой зданиями тепловой энергии на отопление и вентиляцию.

Практика проектирования, строительства и эксплуатации зданий показывает, что только за счет тепловой защиты зданий без соответствующего инженерного оборудования – системы автоматического регулирования параметров теплоносителя – нельзя добиться экономии тепла и электроэнергии. Большие потери тепла происходят через плохо изолированные трубопроводы наружных сетей водоснабжения и теплоснабжения. Поэтому для решения проблем энергосбережения и повышения энер-

гетической эффективности зданий и сооружений необходим комплексный подход.

Как обеспечить безопасность жилища?

Во-первых, все участники проектно-строительной деятельности – заказчики, проектировщики, эксперты, строители, производители строительных материалов должны строго соблюдать требования технических регламентов по безопасности зданий, строительные, пожарные и санитарные нормы и правила.

Во-вторых, приемные комиссии исполнительных органов муниципальных и городских образований ввод в эксплуатацию жилых домов и объектов сокультурбыта должны осуществлять при соблюдении требований технических регламентов, сводов правил, строительных, пожарных и санитарных норм и правил, ГОСТ Р 54964–2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости».

В-третьих, государство не должно самоустраиваться от государственного строительного, пожарного и санитарного надзора, а путем скоординированного технического регулирования обеспечить качество, безопасность и комфортность проектирования и строительства жилья, потому как некоторые государственные надзорные органы, ссылаясь на «урезание» своих полномочий по контролю, пытаются уйти от ответственности, забывая при этом о своих функциях по предотвращению чрезвычайных ситуаций.

В-четвертых, необходимо активно заняться исполнением поручений Президента страны по итогам заседания Госсовета РФ по вопросам развития строительного комплекса и совершенствования градостроительной деятельности, состоявшегося 17 мая 2016 г., где было поручено **«выработать государственную политику по нормативно-правовому регулированию в строительном комплексе, привести в соответствие с современными требованиями документы технического регулирования в сфере строительства, активно заняться внедрением современных, в том числе энергосберегающих технологий, безопасных и экологичных материалов, повышением требований по обеспечению безопасности эксплуатации зданий и сооружений»**.

В-пятых, принять Федеральный закон «Технический регламент о безопасности строительных материалов и изделий», разработанный Минпромторгом РФ.

В-шестых, разработать и реализовать в рамках национального проекта «Жилье и городская среда» целевую программу **«О расширении производства и применения керамзита и керамзитобетона в строительстве»** и строить объекты жилищно-гражданского назначения (группа А) с применением керамзита и керамзитобетонных изделий и конструкций на его основе.

И.В. НЕДОСЕКО¹, д-р техн. наук, профессор (nedoseko1964@mail.ru),
Д.А. СЕНИЦИН¹, канд. техн. наук (d4013438@yandex.ru);
В.М. ГОРИН², канд. техн. наук, ген. директор (keramzit_union@mail.ru);
П.В. САФОНОВ³, ген. директор;
Е.Ю. МИРОНЮК¹, магистрант (4082528@rambler.ru);
В.В. КУЗЬМИН⁴, канд. техн. наук (vol_kuz@mail.ru)

¹ Уфимский государственный нефтяной технический университет (450062, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1)

² АО «НИИКерамзит» (443086, г. Самара, ул. Ерошевского, 3А)

³ Некоммерческая организация фонд «Региональный оператор капитального ремонта общего имущества в многоквартирных домах, расположенных на территории Республики Башкортостан» (450059, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Рихарда Зорге, 7)

⁴ Филиал Самарского государственного технического университета в г. Белебее Республики Башкортостан (452000, Республика Башкортостан, г. Белебей, ул. Советская, 11)

Легкий и особо легкий керамзит и керамзитобетон. Анализ традиционных и перспективных областей их использования в гражданском и промышленном строительстве

Рассмотрены традиционные и современные конструктивные и технологические решения по применению керамзита и керамзитобетона стандартной и пониженной плотности в промышленном и жилищно-гражданском строительстве. Применение особо легкого керамзита в качестве засыпного утеплителя чердачных перекрытий позволяет существенно снизить стоимость производства строительного монтажа работ и повысить эксплуатационную надежность зданий в процессе проведения их капитального ремонта и реконструкции. Более чем двадцатилетний период эксплуатации мансардных конструкций из крупнопористого керамзитобетона при различном, в том числе экстремальном, температурно-влажностном режиме свидетельствует о повышенной долговечности керамзитобетона и его хорошей совместимости с традиционными отделочными материалами – деревом и гипсокартоном. Рациональным является применение керамзитобетона для теплоизоляции фундаментных плит малоэтажных зданий и для устройства «плавающего фундамента» быстровозводимых зданий ангарного типа на вечной мерзлоте в климатических условиях Сибири и Дальнего Востока.

Ключевые слова: особо легкий керамзит, крупнопористый керамзитобетон, мансарда, фундаментная плита, плавающий фундамент, вечная мерзлота.

Для цитирования: Недосеко И.В., Синицин Д.А., Горин В.М., Сафонов П.В., Миронюк Е.Ю., Кузьмин В.В. Легкий и особо легкий керамзит и керамзитобетон. Анализ традиционных и перспективных областей их использования в гражданском и промышленном строительстве // *Строительные материалы*. 2022. № 5. С. 8–14. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-8-14>

I.V.NEDOSEKO¹, Doctor of Sciences (Engineering), Professor (nedoseko1964@mail.ru),

D.A. SINITSIN¹, Candidate of Sciences (Engineering) (d4013438@yandex.ru);

V.M. GORIN², Candidate of Sciences (Engineering), General Director (keramzit_union@mail.ru); P.V. SAFONOV³, General Director;

E.Yu. MIRONIUK¹, Master's Student (4082528@rambler.ru); V.V. KUZMIN⁴, Candidate of Sciences (Engineering) (vol_kuz@mail.ru)

¹ Ufa State Petroleum Technological University (1 Kosmonavtov Street, Ufa, 450062, Republic of Bashkortostan, Russian Federation)

² JSC "NIKERAMZIT" (3A Eroshevskogo Street, Samara, 443086, Russian Federation)

³ Non-profit Organization Foundation "Regional operator of capital repairs of common property in apartment buildings located on the territory of the Republic of Bashkortostan" (7 Richard Sorge Street, Ufa, 450059, Republic of Bashkortostan, Russian Federation)

⁴ Branch of Samara State Technical University in Belebey, Republic of Bashkortostan (11 Sovetskaya Street, Belebey, 452000, Republic of Bashkortostan, Russian Federation)

Lightweight and Extra Lightweight Expanded Clay and Expanded Clay Concrete. Analysis of Traditional and Promising Areas of Their Use in Civil and Industrial Construction

Traditional and modern constructive and technological solutions for the use of expanded clay and expanded clay concrete of standard and reduced density in industrial and housing and civil engineering are considered. The use of particularly light expanded clay as a backfill insulation of attic floors makes it possible to significantly reduce the cost of construction and installation works and increase the operational reliability of buildings during their overhaul and reconstruction. More than twenty years of operation of mansard structures made of coarse-porous expanded clay concrete under various, including extreme temperature and humidity conditions, testifies to the increased durability of expanded clay concrete and its good compatibility with traditional finishing materials – wood and drywall. It is rational to use expanded clay concrete for thermal insulation of foundation slabs of low-rise buildings and for the installation of a "floating foundation" for prefabricated hangar-type buildings on permafrost in the climatic conditions of Siberia and the Far East.

Keywords: extra light expanded clay, large-porous expanded clay concrete, attic, foundation slab, floating foundation, permafrost.

For citation: Nedoseko I.V., Sinitsin D.A., Gorin V.M., Safonov P.V., Mironiuk E.Yu., Kuzmin V.V. Lightweight and extra lightweight expanded clay and expanded clay concrete. Analysis of traditional and promising areas of their use in civil and industrial construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 5, pp. 8–14. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-8-14>

Керамзит и керамзитобетон начали массово применяться в строительстве, как в отечественном, так и в зарубежном, после Второй мировой войны; можно сказать, что масштабное послевоенное строительство было бы невозможно без использования данных материалов. По сравнению с другими видами легких природных и искусственных заполнителей (аглопорит, вермикулит, шлаковая пемза и др.) керамзит имеет самую низкую плотность (и соответственно лучшие теплофизические характеристики), практически неисчерпаемую сырьевую базу, технологичность и дешевизну в массовом производстве [1–4].

Несмотря на обширные сферы применения керамзита в различных областях промышленности и сельского хозяйства (в качестве фильтрующего материала при очистке природных вод, устройства дренажных слоев в теплицах и др.), основным его потребителем была и остается строительная отрасль. Анализ многочисленных областей применения ке-

рамзита в промышленном, гражданском и транспортном строительстве, которые использовались десятки лет и до настоящего времени, показал, что керамзит применяется более чем на 95% в качестве теплоизоляционных засыпок, теплоизоляционных бетонов и очень редко для конструктивно-теплоизоляционных бетонов [5]. Конструкционные легкие керамзитобетоны в настоящее время практически не применяются, хотя можно прогнозировать, что в недалеком будущем они могут эффективно использоваться в специальных отраслях, например в нефтегазовом строительстве при возведении морских буровых платформ [6].

В связи с вышеизложенным последние пятьдесят лет основные усилия исследователей и технологов были направлены целиком на снижение плотности выпускаемого керамзита, это позволяло решать сразу две важные практические задачи: кратно улучшить его теплофизические свойства и снизить себестои-



Рис. 1. Коттедж в г. Белебей (крупнопористый керамзитобетон использован в конструкциях наружных стен и мансарды)

Fig. 1. Cottage in the city of Belebey (large-pore expanded clay concrete was used in the construction of external walls and attic)



Рис. 2. Колодезная кладка наружных стен с применением крупнопористого керамзитобетона (стадия строительства коттеджа в г. Белебей)

Fig. 2. Manhole masonry of external walls using large-porous expanded clay concrete (stage of construction of a cottage in Belebey)



Рис. 3. Возведение мансарды коттеджа с использованием крупнопористого керамзитобетона: *a* – установка крепежных элементов несъемной опалубки с использованием гипсокартона; *b* – стадия завершения строительно-монтажных работ

Fig. 3. Erection of a cottage attic using large-porous expanded clay concrete: *a* – installation of fixed formwork fasteners using drywall; *b* – stage of completion of construction and installation works



Рис. 4. Состояние элементов отделочного покрытия в помещении санузла (на мансарде) коттеджа после 15 лет эксплуатации
Fig. 4. The condition of the elements of the finishing coating in the bathroom (in the attic) of the cottage after 15 years of operation



Рис. 6. Состояние отделочных покрытий (гипсокартона и деревянного каркаса) двухэтажной мансарды после 20 лет эксплуатации в неотапливаемых помещениях
Fig. 6. The state of finishing coatings (plasterboard and wooden frame) of a two-story attic after 20 years of operation in unheated premises



Рис. 5. Внешний вид двухэтажной мансарды (с крупнопористым керамзитобетоном) Башкирского социально-экономического техникума после 20 лет эксплуатации
Fig. 5. Appearance of a two-story attic (with large-pore expanded clay concrete) of the Bashkir Social and Economic College after 20 years of operation



Рис. 7. Образец крупнопористого конструктивно-теплоизоляционного керамзитобетона (плотность 420–450 кг/м³), взятый из мансардных наружных стен
Fig. 7. A sample of large-pore structural and heat-insulating expanded clay concrete (density 420–450 kg/m³) taken from mansard outer walls

мость производства (прежде всего за счет снижения затрат на подготовку и обжиг исходного глинистого сырья). Однако если во времена СССР данная задача была практически неразрешимой и средняя плотность выпускаемого керамзитового гравия составляла 350–550 кг/м³, прежде всего из-за низкой степени автоматизации технологического процесса и большой доли ручного труда, то за последние тридцать лет подавляющее большинство производителей керамзитового гравия в России и странах СНГ имеют возможность массового производства не только легкого (плотностью 300–350 кг/м³), но даже особо легкого керамзита (плотностью 150–250 кг/м³). В решении сложной и важной проблемы производства легкого и особо легкого керамзита принимали активное участие как ученые многих строительных вузов, так и технологи-практики. Безусловно, главную координирующую функцию этого процесса выполнял НИИКерамзит. Достигнутые результаты открывают

возможность второго рождения керамзита и его массового использования во многих областях строительства.

Традиционной областью применения керамзита в 1950–1990-е гг. являлось его использование в качестве теплоизоляционных засыпок в чердачных перекрытиях и малоуклонных кровлях. Отказ от использования керамзита в 1990-е гг. и его замена на эффективные утеплители — минеральную вату (маты и ППЖ-плиты) или пенополистирол, как показала достаточно печальная практика строительства, и в особенности эксплуатации различных объектов, привел не к сокращению, а наоборот, увеличению удельных энергозатрат и, что наиболее важно, многократному увеличению числа чрезвычайных ситуаций из-за пожаров. Использование же для этих целей легкого керамзита плотностью 250–300 кг/м³, а тем более особо легкого (плотностью 150–250 кг/м³) позволит не только значительно снизить стоимость



Рис. 8. Состояние чердачного пространства (над двухэтажной мансардой) Башкирского социально-экономического техникума после 20 лет эксплуатации

Fig. 8. The condition of the attic space (above the two-story attic) of the Bashkir Socio-Economic College after 20 years of operation



Рис. 9. Вариант заполнения внутреннего пространства наружных стен, возведенных методом 3D-печати, особо легким керамзитом или керамзитобетоном

Fig. 9. The option of filling the internal space of the outer walls, built by 3D printing, with extra light expanded clay or expanded clay concrete



Рис. 10. Автострада в Чехии, построенная на подтопляемых территориях с использованием керамзита: а – устройство керамзитовой подушки в оболочке из геосинтетики; б – автострада в стадии эксплуатации

Fig. 10. Highway in the Czech Republic, built on flooded areas using expanded clay: а – installation of an expanded clay cushion in a geosynthetic shell; б – freeway in operation

производства работ (за счет меньшей стоимости керамзита по сравнению с минераловатными плитами и исключения из технологического процесса производства работ по устройству цементно-песчаной стяжки поверх утеплителя в чердачном пространстве, так как керамзит негорючий материал), но и существенно повысить эксплуатационную надежность чердачных перекрытий и плоских кровель [7].

Увеличение объема производства керамзита пониженной плотности открывает перед строителями возможность получения на его основе особо легких крупнопористых керамзитобетонов с очень хорошими теплотехническими и эксплуатационными свойствами [8, 9]. Об этом свидетельствует более чем двадцатилетний опыт эксплуатации индивидуальных жилых домов в г. Уфе и районах Республики Башкортостан, наружные стены которых выполнены в колодезной кладке с заполнением крупнопористым керамзитобетоном, а также двух эксплуатируемых объектов – коттеджа в г. Белебей и учебного здания в г. Уфе, где впервые в практике отечественного строительства эксплуатируемые мансарды полностью выполнены из крупнопористого керамзитобетона (рис. 1–4).

При этом особый интерес вызывает экстремальный опыт эксплуатации двухэтажной мансарды из керамзитобетона общей площадью 1700 м² в здании Башкирского социально-экономического техникума, где, несмотря на отсутствие отопления и значительные перепады температуры (от -30°С зимой до +35°С летом), не имеется никаких дефектов как в самой конструкции наружной оболочки мансарды из крупнопористого керамзитобетона, так и в отделочных слоях, выполненных из гипсокартона по деревянным брускам (рис. 5–7) [10]. Это в первую очередь объясняется тем, что по сравнению со стандартным бетоном и кирпичной кладкой крупнопористый керамзитобетон имееткратно меньшую эксплуатационную влажность и контактирующие с ним деревянные элементы не подвергаются увлаж-



нению даже при резких перепадах температуры и влажности внутри мансардного пространства. Таким образом, крупнопористый керамзитобетон плотностью 500–550 кг/м³, изготовленный двадцать лет назад из обычного, не самого легкого керамзита (с насыпной плотностью 350–400 кг/м³; в то время особо легкий керамзит производил только опытный завод НИИКерамзит в г. Самаре), показал весьма хорошие теплотехнические и эксплуатационные характеристики. Если для получения крупнопористого бетона использовать легкий и особо легкий керамзит (плотностью 150–250 кг/м³) и современное бетоносмесительное оборудование, позволяющее снизить расход цемента со 120–150 до 60–80 кг/м³, то реально получается крупнопористый керамзитобетон плотностью 250–350 кг/м³, теплотехнические характеристики которого лучше, чем у газобетона, и он вполне сможет заменить дорогостоящие и нетехнологичные в производстве минераловатные плиты повышенной жесткости при изготовлении железобетонных стеновых панелей; панели, как правило, формируются лицом вниз, и для установки проволочных сеток, связывающих наружный лицевой и внутренний несущий железобетонные слои минераловатные плиты приходится разрезать, что трудоемко и, безусловно, приводит к возникновению мостиков холода. Керамзит, по мнению авторов, может эффективно применяться не только в изложенных выше конструктивных решениях, которые можно считать традиционными [11, 12], но и в большинстве современных технологий, например в аддитивном строительстве. 3D-печать, или аддитивное строительство, безусловно, в недалеком будущем будет массово внедряться в современное строительство, так как оно позволяет отказаться от дорогостоящего и трудоемкого труда каменщика, однако для этого необходимо решить ряд важных конструктивных и технологических задач. Одной из проблем аддитивного строительства является заполнение внутреннего пространства напечатанных стен, а к материалу заполнения предъявляется очень много требований: низкая теплопроводимость, безусадочность, низкая эксплуатационная влажность, достаточная конструкционная прочность, экологичность, негорючесть и, главное, невысокая стоимость. Исследования показали [13], что и керамзитовые засыпки из легкого и особо легкого керамзита, и использование крупнопористого керамзитобетона на его основе могут быть более эффективными по сравнению со вспученным перлитом, пеногипсом и тем более пенобетоном, особенно при необходимости повышения несущей способности напечатанных стен путем заполнения пространства между слоями стены крупнопористым керамзитобетоном (рис. 8).

Еще одной из новых областей применения керамзита, причем не только легкого, является теплоизоляция фундаментных плит малоэтажных зданий. За рубежом, а в последние годы и в отечественном строительстве малоэтажные жилые дома социального

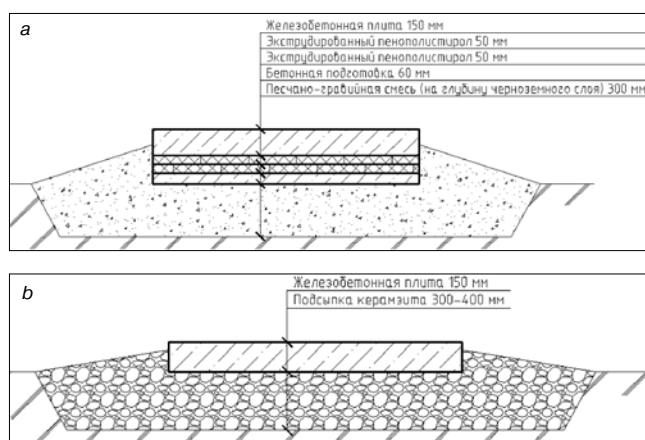


Рис. 11. Варианты конструктивных решений фундаментных плит малоэтажных зданий: а – традиционное решение с экструдированным пенополистиролом и песчано-гравийной подготовкой; б – с использованием керамзитового гравия

Fig. 11. Variants of constructive solutions for foundation slabs of low-rise buildings: а – traditional solution with extruded polystyrene foam and sand and gravel preparation; б – with the use of expanded clay gravel

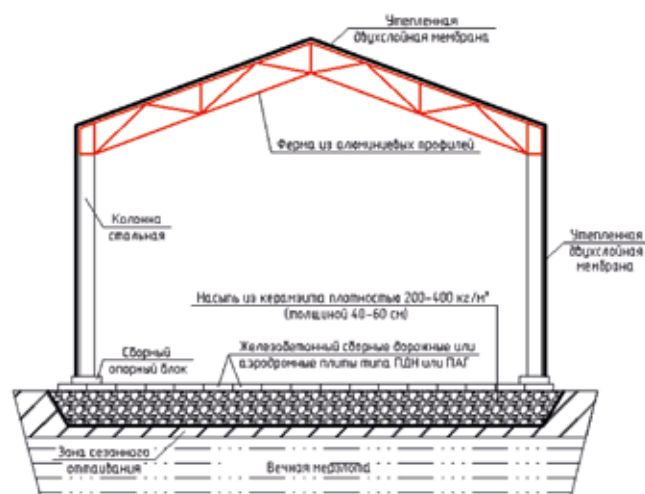


Рис. 12. Быстровозводимое здание с мембранным покрытием на керамзитовой подушке

Fig. 12. Prefabricated building with a membrane coating on an expanded clay cushion

назначения возводятся без подвала на тонкой фундаментной плите (так называемой шведской плите) [14]; для ввода коммуникаций устраивается только небольшой приямок, а для исключения промерзания снизу она утепляется экструдированным пенополистиролом (рис. 9). В случае использования керамзита, во-первых, исключается слой бетонной подготовки (не менее 60 мм), во-вторых – два слоя экструдированного пенополистирола, укладываемых на нее; в результате стоимость керамзита с учетом его доставки до места строительства может быть дешевле песчаной гравийной смеси, так как керамзит в 5–7 раз легче.

Использование керамзита может помочь решить очень важную проблему – строительство быстровозводимых зданий ангарного типа в отдаленных регионах Дальнего Востока и Сибири, где остро стоит потребность в ангарах для обслуживания авиационной

техники и логистических терминалах. Несмотря на то что в конструктивном плане все эти здания являются временными или некапитальными, даже утепленные ангары для транспортной авиации пролетом 36–60 м с алюминиевыми стропильными конструкциями (балками, фермами) и мембранным утепленным покрытием, их возведение на вечной мерзлоте весьма проблематично.

Решить данную проблему, по мнению авторов, поможет зарубежный (Чехия) положительный опыт применения керамзитового гравия в качестве основания автомобильных дорог в болотистой местности, где насыпь из керамзита (обернутая в оболочку из геосинтетической ткани) играет роль плавающего фундамента. В нашем случае (рис. 10) керамзитовая насыпь кроме функции «плавающего фундамента» (в паводковый период при оттаивании грунтов в болотистой местности) выполняет и не менее важную функцию теплоизоляционного слоя для защиты вечной мерзлоты от оттаивания в летний пе-

риод (рис. 11, 12). Целесообразность данного решения предопределена тем, что в данных регионах практически повсеместно распространены глинистые грунты с высоким содержанием органики, которые являются качественным сырьем для производства особо легкого керамзита, и также имеется практически бесплатный попутный газ.

В заключение можно констатировать, что при неизбежном росте стоимости производства теплоизоляционных материалов (минеральной ваты, пенополистирола) и природных заполнителей (гравия, щебня) из-за транспортных затрат и экологических требований, серьезного ужесточения противопожарных требований к строительным материалам области применения керамзита в современном строительстве будут только расширяться и во многом уникальные качественные характеристики керамзита (легкость, долговечность, технологичность производства) будут, безусловно, востребованы в современном строительстве.

Список литературы

1. Садыков Р.К., Сабитов А.А., Кабиров Р.Р. Перспективы использования минерально-сырьевой базы керамзитового сырья в Республике Татарстан // *Строительные материалы*. 2014. № 5. С. 4–7.
2. Дербасова Е.М., Филин В.А. Керамзитобетонные малые блоки как изделия для возведения стеновых конструкций индивидуального малоэтажного дома // *Научный потенциал регионов на службу модернизации*. 2013. Т. 2. № 3 (6). С. 38–41.
3. Ермакова К.О. Эффективное использование теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях. *Сер. Строительство: Сборник статей магистрантов и аспирантов: В 2 т.* СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 283–298.
4. Вытчиков Ю.С., Вытчиков А.Ю., Беляков И.Г., Прилепский А.С. Оценка теплозащитных характеристик кладок из пустотелых керамзитобетонных камней. *Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Естественные науки и техносферная безопасность: Сборник статей*. Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет. 2017. С. 146–150.
5. Недосеко И.В., Бабков В.В., Алиев Р.Р., Кузьмин В.В. Применение конструкционно-теплоизоляционного керамзита в малоэтажном строительстве // *Жилищное строительство*. 2008. № 3. С. 26–27.
6. Несветаев Г.В., Беляев А.В. Самоуплотняющийся керамзитобетон классов В12,5–В20 с маркой по средней плотности D1400 // *Интернет-журнал Науковедение*. 2016. Т. 8. № 1 (32). С. 27.

References

1. Sadykov R.K., Sabitov A.A., Kabirov R.R. Prospects for the use of the mineral resource base of expanded clay raw materials in the Republic of Tatarstan. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 5, pp. 4–7. (In Russian).
2. Derbasova E.M., Filin V.A. Expanded clay concrete small blocks as products for the construction of wall structures of an individual low-rise building. *Nauchnyy potentsial regionov na sluzhbu modernizatsii*. 2013. Vol. 2. No. 3 (6), pp. 38–41. (In Russian).
3. Ermakova K.O. Efficient use of heat-insulating materials in enclosing structures. *Series "Construction": Collection of articles undergraduates and graduate students. In 2 vol.* St. Petersburg: St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. 2020, pp. 283–298. (In Russian).
4. Vytchikov Yu.S., Vytchikov A.Yu., Belyakov I.G., Prilepskii A.S. Evaluation of the heat-shielding characteristics of masonry from hollow claydite-concrete stones. *Traditions and innovations in construction and architecture. Natural sciences and technospheric safety: collection of articles*. Samara: Samara State University of Architecture and Civil Engineering. 2017, pp. 146–150. (In Russian).
5. Nedoseko I.V., Babkov V.V., Aliev R.R., Kuzmin V.V. The use of structural and heat-insulating expanded clay in low-rise construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2008. No. 3, pp. 26–27. (In Russian).
6. Nesvetaev G.V., Belyaev A.V. Self-compacting expanded clay concrete of classes B12.5–B20 with a grade of average density D1400. *Naukovedenie Internet Journal*. 2016. Vol. 8. No. 1 (32), p. 27. (In Russian).

7. Шигапов Р.И., Синицин Д.А., Бикташева А.Р., Недосеко И.В. Использование облегченного керамзита для утепления чердачных перекрытий // *Строительные материалы*. 2020. № 4–5. С. 104–108. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-780-4-5-104-108>
8. Недосеко И.В., Бабков В.В., Алиев Р.Р., Кузьмин В.В. Применение конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона при строительстве и реконструкции зданий жилищно-гражданского назначения // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2010. № 1 (13). С. 325–330.
9. Недосеко И.В., Ишматов Ф.И., Алиев Р.Р. Применение конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона в несущих и ограждающих конструкциях зданий жилищно-гражданского назначения // *Строительные материалы*. 2011. № 7. С. 14–17.
10. Рязанов А.Н., Шигапов Р.И., Синицин Д.А., Кинзябулатова Д.Ф., Недосеко И.В. Использование гипсовых композиций в технологиях строительной 3D-печати малоэтажных жилых зданий. Проблемы и перспективы // *Строительные материалы*. 2021. № 8. С. 39–44. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-794-8-39-44>
11. Плотников А.Н., Гафиятулин Н.А., Васильев П.А. Несущая способность наружных стеновых панелей из конструкционного керамзитобетона со стальной и композитной арматурой // *Жилищное строительство*. 2017. № 3. С. 52–57.
12. Ерофеев П.С., Максимова И.Н., Меркулов А.И., Ерофеев В.Т. Исследование механических параметров каркасного бетона на основе керамзитового заполнителя. *Современные технологии в машиностроении и проблемы исследования и проектирования машин: Сборник статей XVIII Международной научно-практической конференции* / Под ред. Е.А. Чуфистова. Пенза. 26 февраля 2015 г. С. 100–103.
13. Галиакберов Р.Р., Алиев Р.Р., Недосеко И.В. Использование крупнопористого керамзитобетона в ограждающих конструкциях мансардных этажей // *Строительные материалы*. 2006. № 7. С. 8–9.
14. Нухова Е.Е., Чернышов И.Н., Четкарев С.В. и др. Эффективность использования керамзита в качестве теплоизоляционного материала при возведении фундамента на глинистом основании // *Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке: Сборник материалов III Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием: электронное научное издание*. Ижевск, 22–23 апреля 2015 г. С. 964–969.
7. Shigapov R.I., Sinitsin D.A., Biktasheva A.R., Nedoseko I.V. The use of lightweight expanded clay for insulation of attic floors. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials], 2020. No. 4–5, pp. 104–108. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-780-4-5-104-108>
8. Nedoseko I.V., Babkov V.V., Aliev R.R., Kuzmin V.V. The use of structural and heat-insulating expanded clay concrete in the construction and reconstruction of buildings for housing and civil purposes. *Izvestiya of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering*. 2010. No. 1 (13), pp. 325–330. (In Russian).
9. Nedoseko I.V., Ishmatov F.I., Aliev R.R. The use of structural and heat-insulating expanded clay concrete in the bearing and enclosing structures of buildings for residential and civil purposes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 7, pp. 14–17. (In Russian).
10. Ryazanov A.N., Shigapov R.I., Sinitsin D.A., Kinzyabulatova D.F., Nedoseko I.V. The use of gypsum compositions in the technologies of construction 3D printing of low-rise residential buildings. Problems and prospects. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 8, pp. 39–44. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-794-8-39-44>
11. Plotnikov A.N., Gafiyatulin N.A., Vasiliev P.A. Bearing capacity of external wall panels made of structural expanded clay concrete with steel and composite reinforcement. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 3, pp. 52–57. (In Russian).
12. Erofeev P.S., Maksimova I.N., Merkulov A.I., Erofeev V.T. Study of the mechanical parameters of frame concrete based on expanded clay filler. *Modern technologies in mechanical engineering and problems of research and design of machines: collection of articles of the XVIII International Scientific and Practical Conference*. Edited by E.A. Chufistov. Penza. February 26, 2015, pp. 100–103. (In Russian).
13. Galiakberov R.R., Aliev R.R., Nedoseko I.V. The use of large-pore claydite concrete in the enclosing structures of attic floors. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 7, pp. 8–9. (In Russian).
14. Nukhova E.E., Chernyshov I.N., Chetkarev S.V. Efficiency of using expanded clay as a heat-insulating material when building a foundation on a clay base. *Young scientists – to accelerate scientific and technological progress in the XXI century: a collection of materials of the III All-Russian scientific and technical conference of graduate students, undergraduates and young scientists with international participation: electronic scientific edition*. Izhevsk, April 22–23, 2015, pp. 964–969. (In Russian).

В.М. ГОРИН, канд. техн. наук, генеральный директор (keramzit_union@mail.ru)

АО «НИИКерамзит» (443086, г. Самара, ул. Ерошевского, 3а)

Керамзит и керамзитобетон в стройкомплексе страны

Приведены основные цели и задачи деятельности института НИИКерамзит, по инициативе которого в 2005 г. создан Союз производителей керамзита и керамзитобетона. Он координирует усилия предприятий отрасли для решения наиболее актуальных задач развития керамзитового производства, улучшения качества керамзита и керамзитобетона, распространения передового научно-технического опыта. Представлены основные предприятия, входящие в Союз, которые обеспечивают широкую номенклатуру продукции: керамзит разных фракций, изделия из керамзита и керамзитобетона для гражданского и промышленного строительства, керамзитобетонные блоки.

Ключевые слова: керамзит, керамзитобетон, производители керамзитового гравия.

Для цитирования: Горин В.М. Керамзит и керамзитобетон в стройкомплексе страны // *Строительные материалы*. 2022. № 5. С. 15–18. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-15-18>

V.M. GORIN, Candidate of Sciences (Engineering), General Director (keramzit_union@mail.ru)
NIIKeramzit JSC (3a, Eroshevskogo Street, Samara, 443086, Russian Federation)

Expanded Clay and Expanded Clay Concrete in the Construction Complex of the Country

The main goals and objectives of the activities of the NIIKeramzit Institute are given, on the initiative of which the Union of Manufacturers of Expanded Clay and Expanded Clay Concrete was created in 2005. It coordinates the efforts of industry enterprises to solve the most urgent problems of the development of expanded clay production, improve the quality of expanded clay and expanded clay concrete, and disseminate advanced scientific and technical experience. The main enterprises of the Union that provide a wide range of products are presented: expanded clay of different fractions, products made of expanded clay and expanded clay concrete for civil and industrial construction, expanded clay concrete blocks.

Keywords: expanded clay (keramzit), expanded clay concrete (keramzit concrete), expanded clay gravel manufacturers.

For citation: Gorin V.M. Expanded clay and expanded clay concrete in the construction complex of the country. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 5, pp. 15–18. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-15-18>

Легкие бетоны на пористых заполнителях являются универсальными строительными материалами, значимость и востребованность которых в XXI в. все более возрастает. Об этом свидетельствует большое количество разработок и научных исследований [1–10 и др.].

Основной объем выпуска пористых заполнителей в нашей стране – до 80%, принадлежит керамзиту, промышленное производство которого, начатое в 1960-е гг., развивалось бурными темпами.

Керамзит сыграл исключительную роль в решении острейшей проблемы – преодоления жилищного кризиса послевоенных лет. Высокая технологичность и многофункциональность керамзита обеспечили быстрое развитие индустриального домостроения.

В 1961 г. был создан специализированный институт по керамзиту – НИИКерамзит, выполнявший большую работу по изучению сырьевой базы для организации предприятий и созданию нового технологического оборудования, по повышению качества керамзита и керамзитобетона, их успешному использованию в индустриальном домостроении, а также по разработке нормативной документации.

Практически во всех регионах страны были созданы керамзитовые заводы, работавшие в едином ключе с заводами ЖБИ и домостроительными комбинатами. В 1989 г., по данным Госкомитета СССР, в стране работало 354 завода по выпуску керамзита (в том числе 13 на основе шунгитового сырья) и вы-

пуск керамзита достиг 39,3 млн м³. Именно их четкая и слаженная работа обеспечила исключительные объемы строительства, в первую очередь жилищного, а также гражданского и промышленного. При этом индустриализация строительства имела существенное значение – выпуск крупноразмерных конструкций, панелей (высокое качество которых было обеспечено заводским контролем) и быстрая сборка на стройплощадках. В 1988 г. объем вводимого жилья составлял 76 млн м², из них 80% приходилось на крупнопанельное домостроение с применением керамзита и керамзитобетона.

В 1990-е гг. был нанесен серьезный урон всему народному хозяйству страны. Большие потери понесла стройиндустрия, в том числе керамзитовые предприятия, заводы ЖБИ и домостроительные комбинаты. Выпуск керамзита и керамзитобетона, их использование резко сократились.

Для сохранения научного-технического потенциала, объединения усилий керамзитовых предприятий, при инициативном участии НИИКерамзит в 2005 г. был создан Союз производителей керамзита и керамзитобетона [11, 12]. Союз координирует усилия предприятий отрасли для решения наиболее актуальных задач развития керамзитового производства, улучшения качества керамзита и керамзитобетона, распространения передового научно-технического опыта. С этой целью проводятся ежегодные научно-практические конференции, в работе которых принимают

участие представители предприятий отрасли из разных регионов России и ближнего зарубежья, предприятий – поставщиков оборудования, проектных организаций, ученые ведущих научных организаций – НИИСФ, ЦНИИЭПЖилища, НИИЖБ, Институт им. Введенеева и др. [13].

Активное участие в работе Союза принимают ведущие предприятия отрасли, успешная работа которых является примером и открывает перспективы для других предприятий.

ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия» (Тюменская обл.) является градообразующим предприятием по производству строительных материалов в Западной Сибири.

Девиз предприятия: *Строительные материалы и изделия из керамзита и керамзитобетона для гражданского и промышленного строительства от фундамента до крыши.*

1990-е гг. были очень трудными: небольшое в то время предприятие болезненно адаптировалось к рыночным отношениям. Исключительное значение имела программа модернизации и совершенствования предприятия, которая была разработана и успешно реализована благодаря твердости и инициативности талантливому руководителю Р.Ф. Саммасова. Именно он сумел вывести завод на принципиально новый уровень. Предприятие расширило линейку выпускаемой продукции от трех наименований до более чем 350. В его состав входит не только производственная линия по выпуску керамзитового гравия в объеме 390 тыс. м³/г., но и керамзитобетонных блоков, железобетонных изделий, элементов благоустройства, арматурной сетки и арматурных каркасов, технологические линии по производству извести и силикатного кирпича.

В Самарской области успешно работают три предприятия по производству керамзитового гравия – АО «Керамзит», ООО ПКФ «Спутник», ООО «Октябрьский керамзит». Предприятия выпускают высококачественный керамзит различных марок.

Рязанский завод АО «Керамзит», основанный в 1961 г., в настоящее время занимает лидирующее место по производству керамзита в Центральной России – легкого, качественного и экологичного утеплителя. В промышленных масштабах производится уникальный по свойствам сверхлегкий керамзит фракции 10–20 мм с очень низкой насыпной плотностью (170–250 кг/м³) и небольшой теплопроводностью: 0,045–0,06 Вт/(м·°C). Данные показатели в 2–3 раза выше, чем средние показатели по стране керамзита марки М400–М600.

В 2006 г. предприятие расширило номенклатуру. Был пущен новый цех по производству керамзитобетонных блоков, которые пользуются большим спросом на рынке стройматериалов региона. Благодаря полностью безвредному, экологичному составу данные блоки рекомендованы к строительству детских и медицинских учреждений, зданий агропро-

мышленного назначения, а также для частного малоэтажного строительства и для межкомнатных пространств многоэтажных домов.

По заказу строителей многоэтажных домов завод начал производить межквартирные и межкомнатные перегородки с высокими шумопоглощающими и звукоизолирующими свойствами. Предприятие осуществляет прямую продажу строительных материалов с завода, что гарантирует низкие цены и высокое качество, выполняет поставку собственным автотранспортом на расстояние до 400 км, обеспечивает высококачественным легким керамзитом значительную часть потребностей Центрального региона.

ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» (Республика Белоруссия) является одним из крупнейших производителей керамзита в Европе и на постсоветском пространстве. В период с 1977 по 2022 г. завод выпустил более 16 млн м³ керамзита. Это мощное предприятие с высоким уровнем автоматизации и экологической защиты. В 1989 г. завод вышел на второе место по объему выпуска керамзита среди предприятий отрасли СССР. Проведенная реконструкция печей позволила увеличить производственную мощность до 700 тыс. м³.

Помимо выпуска высококачественного керамзита для разных сфер применения (сертифицирован и пользуется спросом также за рубежом), предприятие выпускает стеновые керамзитобетонные блоки «ТермоКомфорт», аналогичные европейским блокам. Блоки обеспечивают высокое качество строительства и эффективную теплозащиту при толщине стены 300 мм.

Предприятие постоянно совершенствует технологию производства, новая линия вибропрессования позволила увеличить объем выпуска керамзитобетонных изделий в шесть раз и наладить выпуск новых видов продукции.

Одним из крупнейших предприятий Республики Башкортостан по производству строительных материалов является **ООО «Уфимская гипсовая компания»**.

На сегодняшний день компания владеет достаточно емкими ресурсами. Собственные месторождения гипса и керамзитовых глин позволяют использовать для производства своей продукции высококачественное сырье. Владение собственным автопарком сокращает издержки на логистику, а современное оборудование позволяет получать принципиально качественный продукт.

С 2015 г. ООО «Уфимская гипсовая компания» начала выпуск сухих строительных смесей под торговой маркой BARKRAFT. Бренд BARKRAFT выпускает все необходимое для строительства и отделки внутренних помещений: штукатурки ручного и машинного нанесения, шпаклевки, наливной пол, грунты, монтажные смеси, клеи для керамической плитки, гипс, пазогребневые плиты, керамзит различных фракций и керамзитовые блоки. Уникальность всех продуктов состоит в том, что они имеют природную экологичность и не

содержат вредных для здоровья примесей; продукция соответствует российским стандартам.

Начиная с 2017 г. компания занимается аддитивной печатью. Для тестирования строительной смеси был приобретен и смонтирован на площадке предприятия строительный 3D-принтер, который позволяет печатать малые архитектурные формы, фрагменты и конструкции стен. В качестве чернил используется собственная сухая смесь, которая на протяжении нескольких лет разрабатывалась и модифицировалась, чтобы достичь идеальных показателей по всем параметрам. В настоящее время смесь для строительного 3D-принтера с использованием керамзита протестирована и сертифицирована [14].

Крупнейшим предприятием градостроительного комплекса Чувашии и Поволжья является **Новочебоксарский ООО «ДСК «СУОР»**. Предприятие имеет многолетний опыт использования керамзитобетона в крупнопанельном и сборно-монолитном домостроении. Помимо цехов по производству керамзита, керамзитобетонных изделий для панельного строительства жилых домов, школ, детских садов, имеется цех по производству сборно-монолитных каркасов жилых, общественных и промышленных зданий, а также цех по производству керамзитобетонных блоков.

Список литературы

1. Горин В.М., Шиянов Л.П. Керамзит и керамзитобетон в жилищном строительстве и коммунальном хозяйстве // *Строительные материалы*. 2007. № 10. С. 98–100.
2. Горин В.М., Токарева С.А., Кабанова М.К. Эффективный керамзитобетон в России // *Строительные материалы*. 2009. № 9. С. 54–57.
3. Кудяков А.И., Петров Г.Г., Абакумов А.Е., Сергеева А.В. Высокопрочный керамзитобетон для строительства энергосберегающих жилых зданий. В сборнике: *Перспективные материалы в технике и строительстве (ПМТС-2013). Материалы Первой Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием*. 2013. С. 399–401.
4. Звездов А.И., Фаликман В.Р. Высокопрочные легкие бетоны в строительстве и архитектуре // *Жилищное строительство*. 2008. № 7. С. 2–6.
5. Строкова В.В., Соловьева Л.Н., Мосьпан В.И., Ходыкин Е.И., Гринев А.П. Конструкционные легкие бетоны на основе активных гранулированных заполнителей // *Строительные материалы*. 2009. № 10. С. 23–25.
6. Денисов А.С. Легкие бетоны с изменяемой гранулометрией пористого заполнителя для стен зданий, работающих в суровых климатических условиях: Дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск, 2007. 361 с.
7. Давидюк А.Н., Савин В.И., Кузьмич Т.А., Строчкин В.Н., Давидюк А.А. Нормируемые па-

Следует отметить успехи, достигнутые Новочебоксарским ДСК в области получения высокопрочного керамзита для конструкционных бетонов классов В35–В50.

Высокопрочные бетоны используются для изготовления элементов каркасов зданий, свай, для дорожных и аэродромных покрытий (выпускаются дорожные и аэродромные плиты). Сваи на высокопрочном керамзите прошли успешную сертификацию: они соответствуют требованиям по ударопрочности, морозостойкости и обладают более высокой трещиностойкостью по сравнению со сваями, изготовленными на гранитном щебне.

Помимо высокопрочного керамзита плотностью 750–800 кг/м³, предприятие выпускает керамзит теплоизоляционного назначения плотностью 350–400 кг/м³.

Новочебоксарский ДСК обладает большими возможностями по выпуску продукции широкой номенклатуры керамзита и керамзитобетонных изделий.

Успешная работа флагманов отрасли показывает, что качественный керамзит и керамзитобетон соответствуют требованиям и подходят для решения самых актуальных задач, стоящих перед стройкомплексом страны.

References

1. Gorin V.M., Shiyarov L.P. Expanded clay and claydite-concrete in housing construction and communal services *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 10, pp. 98–100. (In Russian).
2. Gorin V.M., Tokareva S.A., Kabanova M.K. Efficient expanded clay concrete in Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 9, pp. 54–57. (In Russian).
3. Kudyakov A.I., Petrov G.G., Abakumov A.E., Sergeeva A.V. High-strength expanded clay concrete for the construction of energy-saving residential buildings. In the collection: *Perspective materials in technology and construction (PMTS-2013). Materials of the First All-Russian scientific conference of young scientists with international participation*. 2013, pp. 399–401. (In Russian).
4. Zvezdov A.I., Falikman V.R. High-strength lightweight concretes in construction and architecture *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2008. No. 7, pp. 2–6. (In Russian).
5. Strokova V.V., Solovieva L.N., Mospan V.I., Khodykin E.I., Grinev A.P. Structural light concretes on the basis of active granulated fillers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 10, pp. 23–25.
6. Denisov A.S. Lightweight concrete with variable granulometry of porous aggregate for the walls of buildings operating in harsh climatic conditions. Diss... Doctor of Sciences (Engineering). Novosibirsk. 2007. 361 p. (In Russian).

- раметры легких бетонов на минеральных пористых заполнителях и оценка несущей способности конструкций на их основе // *Промышленное и гражданское строительство*. 2018. № 4. С. 56–64.
8. Аксёнова С.М. Легкие бетоны на пористых заполнителях в современном строительстве. *Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования – основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России. Материалы международной 66-й научно-практической конференции*. 2012. С. 150–154.
 9. Ярмаковский В.Н., Савин В.И. Бетоны на пористых заполнителях. *В сборнике: НИИЖБ – 75 лет в строительстве: Сборник очерков истории Научно-исследовательского, проектно-конструкторского и технологического института бетона и железобетона (НИИЖБ)*. М., 2002. С. 35–45.
 10. Семейных Н.С., Сопегин Г.В., Федосеев А.В. Оценка физико-механических свойств пористых заполнителей для легких бетонов // *Вестник МГСУ*. 2018. Т. 13. № 2 (113). С. 203–212.
 11. Союз производителей керамзита и керамзитобетона набирает силу // *Строительные материалы*. 2006. № 10. С. 79.
 12. Союз производителей керамзита и керамзитобетона разрабатывает антикризисную программу по эффективному использованию керамзита в современном индустриальном домостроении // *Строительные материалы*. 2009. № 12. С. 65–68.
 13. Совещание по применению керамзитобетона в строительстве // *Жилищное строительство*. 2010. № 8. С. 13.
 14. Рязанов А.Н., Шигапов Р.И., Синицин Д.А., Кинзябулатова Д.Ф., Недосеко И.В. Использование гипсовых композиций в технологиях строительной 3D-печати малоэтажных жилых зданий. Проблемы и перспективы // *Строительные материалы*. 2021. № 8. С. 39–44. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-794-8-39-44>
 7. Davidyuk A.N., Savin V.I., Kuzmich T.A., Strotsky V.N., Davidyuk A.A. Normalized parameters of light concretes on mineral porous fillers and assessment of the bearing capacity of structures based on them. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2018. No. 4, pp. 56–64. (In Russian).
 8. Aksenova S.M. Lightweight concretes on porous aggregates in modern construction. *Oriented fundamental and applied research is the basis for the modernization and innovative development of the architectural, construction and road transport complexes in Russia. Materials of the international 66th scientific and practical conference*. 2012, pp. 150–154.
 9. Yarmakovskiy V.N., Savin V.I. Concrete on porous aggregates. *In the collection: NIIZhB – 75 years in construction. Collection of essays on the history of the Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZhB)*. Moscow. 2002, pp. 35–45. (In Russian).
 10. Semeynykh N.S., Sopegin G.V., Fedoseev A.V. Evaluation of the physical and mechanical properties of porous fillers for lightweight concrete. *Vestnik MGSU*. 2018. Vol. 13. No. 2 (113), pp. 203–212. (In Russian).
 11. Union of manufacturers of expanded clay and expanded clay concrete is gaining strength. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2006. No. 10. p. 79. (In Russian).
 12. The Union of Expanded Clay and Expanded Clay Concrete Producers is developing an anti-crisis program for the effective use of expanded clay in modern industrial housing construction. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2009. No. 12, pp. 65–68. (In Russian).
 13. Meeting on the use of expanded clay concrete in construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2010. No. 8. p. 13.
 14. Ryazanov A.N., Shigapov R.I., Sinitsin D.A., Kinzybulatova D.F., Nedoseko I.V. The use of gypsum compositions in the technologies of construction 3D printing of low-rise residential buildings. Problems and prospects. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2021. No. 8, pp. 39–44. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-794-8-39-44>

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**Учебное пособие «Промышленное и гражданское строительство. Введение в профессию»**

Авторы: Грызлов В.С., Ворожбянов В.Н., Гендлина Ю.Б., Залипаева О.А., Каптюшина А.Г., Медведева Н.В., Петровская А.А., Поварова О.А., Чорная Т.Н.

Научный редактор – д-р техн. наук, проф. В.С. Грызлов

Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 276 с.

Дана общая характеристика профессии строитель. Приведены сведения из истории развития строительной отрасли. Предложено краткое описание видов строительной продукции, особенностей проектирования строительных объектов, технологии и порядка организации возведения зданий и сооружений; раскрыты вопросы менеджмента в строительстве. Подчеркнута важность строительной науки и цифровизации строительной деятельности. Отдельная глава посвящена особенностям организации инженерно-строительного обучения. Для студентов бакалавриата, начавших обучение по направлению «Строительство». Может быть использовано для профориентационной работы с выпускниками школ.

По вопросам приобретения обращайтесь в издательство «Инфра-Инженерия»



УДК 691.327.32

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-19-21>

Р.Ф. САММАСОВ¹, генеральный директор;
Ю.Ф. ПАНЧЕНКО^{1,2}, канд. техн. наук, заместитель генерального директора по науке и развитию

¹ ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия» (625530, Тюменская обл., пос. Винзили, ул. Вокзальная, 1)

² Тюменский индустриальный университет (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38)

ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия» (Тюменская область). Строительные материалы и изделия из керамзита и керамзитобетона для гражданского и промышленного строительства от фундамента до крыши

Представлено одно из крупнейших предприятий по производству строительных материалов в Западной Сибири – ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия». Начав с производства керамзитового гравия, в настоящее время предприятие включает производственные линии по выпуску керамзитобетонных блоков (фундаментных и стеновых), арматурных и железобетонных изделий, элементов благоустройства, а также извести, силикатного кирпича и известковой штукатурной смеси – всего более 350 видов продукции. Отражены перспективные направления развития предприятия.

Ключевые слова: завод, производство строительных материалов, керамзитовый гравий, керамзитобетон, силикатный кирпич.

Для цитирования: Саммасов Р.Ф., Панченко Ю.Ф. ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия» (Тюменская область). Строительные материалы и изделия из керамзита и керамзитобетона для гражданского и промышленного строительства от фундамента до крыши // *Строительные материалы*. 2022. № 5. С. 19–21.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-19-21>

R.F. SAMMASOV¹, General Director;

Yu.F. PANCHENKO^{1,2}, Candidate of Sciences (Engineering), Deputy General Director for Science and Development

¹ LLC «Vinzilinskij zavod keramzitovogo gravija» (1, Vokzal'naja Street, Tyumen Region, 1625530, Vinzili Villego)

² Industrial University of Tyumen (38, Volodarsky Street, Tyumen, 625000, Russian Federation)

LLC «Vinzili Expanded Clay Gravel Plant» (Tyumen Region). Building Materials Made of Expanded Clay and Expanded Clay Concrete for Civil and Industrial Construction “From The Foundation to the Roof”

The article presents information about one of the largest companies for the production of building materials in Western Siberia – LLC «Vinzili Expanded Clay Gravel Plant» (LLC «VZKG»). Over the past 20 years, the company has expanded the range of products from three names to more than 350. Starting with the production of expanded clay gravel, today the company includes production lines for the production of expanded clay concrete blocks (for foundation and walls), reinforcing and reinforced concrete products, landscaping elements, lime, silicate bricks, lime plaster mix. The article shows the perspective directions of the company's development.

Keywords: plant, production of building materials, expanded clay gravel, expanded clay concrete, silicate brick.

For citation: Sammasov R.F., Panchenko Yu.F. LLC «Vinzili expanded clay gravel plant» (Tyumen region). Building materials made of expanded clay and expanded clay concrete for civil and industrial construction “from the foundation to the roof”. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 5, pp. 19–21. (In Russian).

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-19-21>

ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия» является одним из крупнейших предприятий по производству строительных материалов в Западной Сибири с большим ассортиментом выпускаемой продукции. История гиганта промышленности строительных материалов началась в декабре 1980 г. с небольшого предприятия, которое выпускало до 40 тыс. м³ керамзита в год.

Как и для всей отрасли, 1990-е гг. стали для предприятия болезненным периодом адаптации к новым рыночным отношениям. На первом этапе все силы были направлены на физическое выжи-

вание, сохранение основного производства и костяка специалистов. В 2001 г. новым директором завода стал Риволь Фердаусович Саммасов. Под его руководством новая команда управленцев и технических специалистов взяла курс на модернизацию и усовершенствование всего предприятия. Данная работа продолжается по настоящее время.

Программой мер по устойчивому развитию строительной отрасли в России в качестве приоритетных направлений было определено расширение объемов строительства с применением совре-



менных энерго- и ресурсосберегающих материалов и технологий, достижение новых потребительских качеств жилья и создание комфортных условий проживания человека.

Стратегия развития, которой следует ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия», в полной мере отвечает этим приоритетам. Сегодня предприятие представляет на отечественном и зарубежном рынках продукцию, отвечающую самым жестким требованиям по физико-техническим параметрам, экологичности и долговечности.

В 2012 г. система менеджмента качества Винзилинского завода керамзитового гравия была сертифицирована в соответствии со стандартом ISO 9001:2000. Также на заводе были проведены работы по созданию интегрированной системы менеджмента на базе стандартов ISO 9001 (контроль качества на производстве), ISO 14001 (управление охраной труда) и OHSAS 18000 (управление окружающей средой).

В рамках федеральной программы диверсификации существующих производств, были освоены и внедрены инновационные технологии, благодаря которым стало возможным производство в про-

мышленном масштабе разнообразных видов строительной продукции.

В состав предприятия входят производственные линии по выпуску:

- керамзитового гравия;
- керамзитобетонных блоков (фундаментных и стеновых);
- железобетонных изделий для несущих конструкций и элементов благоустройства;
- арматурной сетки и арматурных каркасов;
- извести, силикатного кирпича и известковой штукатурки.

При проектной мощности по выпуску керамзитового гравия 200 тыс. м³ в год объем выпуска в 2021 г. составил 448 тыс. м³. Продукция предприятия востребована во многих регионах России.

ООО «ВЗКГ» является крупнейшим производителем керамзитобетонных блоков. Объем выпуска керамзитобетонных блоков за предыдущие два года увеличился на 65% и в 2021 г. составил 26 млн шт.

Недавно в состав предприятия вошел завод по производству силикатного кирпича. Налажено производство силикатного кирпича высоких марок по прочности (M200 и M250) и высокой морозостойкостью (F100). Также организовано производство штукатурной смеси для внутренних работ на основе извести.

Опыт работы предприятия по производству керамзитобетонных блоков, железобетонных изделий из керамзитобетона и товарного керамзитобетона еще раз подтверждает, что физико-технические характеристики керамзитобетона в большей степени зависят от характеристик применяемого керамзитового заполнителя. Так, для производства товарного керамзитобетона классов по прочности В25 и В30 применяется керамзитовый гравий насыпной плотностью марки М500–М600, марки по прочности П100–П125. Для производства керамзитобетона с прочностью В40 и выше требуется керамзитовый заполнитель с повышенными прочностными характеристиками.

Так, для проекта «Арктик СПГ-2» в Мурманске ООО «ВЗКГ» совместно с НИИКерамзит разрабо-





тали и освоили выпуск керамзитового заполнителя насыпной плотностью М800, прочностью П250. За счет некруглой формы зерен керамзита обеспечивается хорошее сцепление его частиц в бетоне с растворной частью, что позволяет получать керамзитобетон класса по прочности В50 при плотности бетона 1950 кг/м³. Получить керамзитобетон с как можно большей прочностью и при этом с минимально возможной плотностью – вот основная цель проектирования состава конструкционного керамзитобетона. И совершенно очевидно, что подбор состава бетона надо начинать со стадии проектирования и производства пористого заполнителя требуемого качества.

ООО «ВЗКГ» поставляет керамзит в Мурманск для реализации нового проекта компании НОВАТЭК – «Арктик СПГ-2», предусматривающего строительство трех технологических линий по производству сжиженного природного газа. На основе керамзитового гравия производится высокопрочный керамзитобетон для строительства оснований гравитационного типа (ОГТ).

Специалистами завода были проведены исследования кинетики твердения керамзитобетона в условия отрицательной температуры. Для исследования было приготовлено два состава керамзитобетонной смеси с заданным классом по прочности В15 и В40. Сразу после изготовления часть образцов была помещена в морозильную камеру с температурой -5°C, а часть оставлена для твердения в нормальных условиях. Образцы, твердевшие в нормальных условиях, были испытаны в возрасте 28 сут, а образцы, помещенные в морозильную камеру, извлекались после 7, 28 и 56 сут и через 4 ч испытывались на прочность при сжатии. Дополнительно три серии образцов были извлечены через семь суток хранения из морозильной камеры и после оттаивания были оставлены для твердения на 7, 28 и 56 сут. Результаты эксперимента представлены в таблице.

На основании эксперимента можно сделать следующие выводы:

- твердение бетона при отрицательной температуре до -5°C происходит, хотя и очень медленно;
- при восстановлении положительной температуры твердение керамзитобетона восстанавли-

Условия твердения, °С	Время твердения, сут	Прочность при сжатии, МПа, для бетона	
		В15	В40
+20±2	28	19,9	55,2
-5	7	–	4,5
-5	28	2,2	5,6
-5	56	3,6	6,4
-5/+20±2	7	10,3	33,6
-5/+20±2	28	14,1	45,4
-5/+20±2	56	19,4	56,7

вается, хотя за 28 сут прочность при сжатии не достигает значений, полученных при твердении бетона в нормальных условиях;

– при дальнейшем твердении, к 56-м суткам, прочность керамзитобетона достигает проектных значений;

– замедление кинетики твердения керамзитобетона после замерзания и последующего оттаивания по сравнению с кинетикой твердения керамзитобетона в нормальных условиях, вероятно, связано с изменениями в процессах гидратации портландцементного клинкера.

ООО «ВЗКГ» активно сотрудничает с учеными НИИКерамзит в научно-практической работе по внедрению инновационных и передовых технологий. Так, были получены и адаптированы к нашему производству специальные технологические приемы, позволяющие производить керамзитовый гравий, как особо легкий, так и повышенной прочности для гидротехнического и дорожного строительства, с плотностью 900–1000 кг/м³.

ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия» является постоянным участником ежегодных научных конференций, организуемых Союзом производителей керамзита и керамзитобетона (НО «СПКиК») и НИИКерамзит, которые объединяют усилия всех производителей керамзитового гравия нашей страны для дальнейшего развития данной строительной отрасли.

Вместе с промышленностью строительных материалов и строительным комплексом России ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия» с оптимизмом смотрит в будущее.



ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» — лидер керамзитовой промышленности Беларуси и Европы

JSC "Keramzit Gravel Plant, Novolukoml" is the Leader of the Keramzit Industry in Belarus and Europe

Недавняя история

Республика Беларусь богата полезными ископаемыми. В частности, она располагает более чем двумястами месторождениями различных глин. Одно из них, — богатейшее по запасам Лукомльское месторождение легкоплавких глин, расположенное в Витебской области, — стало сырьевой базой для завода керамзитового гравия в г. Новолукомле.

Только в пределах горного отвода запасы глины составляют более 12 млн м³. Это позволило организовать выпуск высококачественного керамзитового гравия, который в те годы был основным наполнителем для производства железобетона в индустриальном домостроении.

3 ноября 1977 г. была введена в эксплуатацию первая очередь завода керамзитового гравия производственной мощностью 200 тыс. м³. А уже в 1980 г. продукция предприятия — керамзитовый гравий фракции 10–20 мм — получила Государственный знак качества.

Под руководством Гурама Ильича Лазарашвили завод успешно развивался. В 1983 г. построена вторая очередь производственной мощностью 300 тыс. м³. В 1987 г. проведена реконструкция печей, что позволило увеличить производительность до 700 тыс. м³. В 1989 г. завод вышел на второе место по объему выпуска керамзита в СССР.

Предприятие с честью выдержало испытания тяжелого периода адаптации экономики к новым рыночным реалиям. Важной вехой постсоветского развития стала в 1998 г. сертификация продукции завода Берлинским институтом испытаний строительных материалов, дающая право на ввоз и применение в строительстве в странах Европейского экономического сообщества. В конце 1999 г. завод был переведен на новый вид топлива — природный газ.

Традиции, инновации, ответственность бизнеса

Новым историческим этапом для завода стал год миллениума. Государственное предприятие Новолукомльский завод керамзитового гравия было преобразовано в ОАО «Завод керамзитового гравия г.Новолукомль», а руководство акционерным обществом принял Михаил Гурамович Лазарашвили. Началось расширение ассортимента продукции в соответствии с запросом рынка, высокое качество керамзита неоднократно отмечалось на различных республиканских конкурсах.

В 2004 г. на предприятии внедрена и сертифицирована международным сертификационным органом BVQI (Bureau Veritas Quality International) система менеджмента качества ISO 9001:2000 (сертификат № 148556).

С целью повышения финансово-экономической устойчивости на предприятии реализуется несколько стратегических направлений работы. Значительное внимание уделяется охране труда и защите окружающей среды.

Система управления окружающей средой и Система управления охраной труда ОАО «Завод керамзитового гравия г.Новолукомль» сертифицированы международным сертификационным органом BVC (Bureau Veritas Certification), как соответствующие требованиям ISO 14001 и ISO 45001.

На предприятии установлены мощные электрофильтры ЭГА 1-40-9-6-3, что позволило снизить выбросы неорганической пыли в атмосферу с 1240 до 100 мг/м³. Более того, рачительные хозяева провели исследования фильтрата на предмет возврата его в производство. Исследования показали, что тонкодисперсная глина, которая является основным улавливаемым фильтрами компонентом, прекрасно подходит для выпуска клинкерной фасадной плитки. Сотрудники лаборатории совместно с учеными БНТУ





в настоящее время углубленно изучают возможность промышленного использования данного попутного продукта.

В производстве керамзита расходы на энергоресурсы составляют значительную долю себестоимости, поэтому их снижение является важным резервом снижения издержек. В 2013 г. на предприятии запустили газопоршневую электростанцию на базе когенерационной установки TEDOM Quanto D770 для одновременного производства электрической энергии и тепла.

Следующим этапом повышения энергоэффективности стала модернизация в 2015 г. вращающейся печи. Выполнены работы по изменению конструкции теплообменников, уплотнения печи, установлены дополнительные контрольно-измерительные приборы, проведена автоматизация управления работой печи, установлена система опудривания гранул, что позволило увеличить производительность печи на 56%, снизить удельные расходы газа на обжиг на 9%, а горячая вода из теплообменников теперь обеспечивает все бытовые потребности завода.

Рациональное использование ресурсов, последовательная модернизация всех производственных переделов позволили значительно снизить энергопотребление: проектное потребление газа составляло 90 кг у. т./м³, а электроэнергии – 45 кВт·ч/м³; в 1991 г. предприятие вошло с энергозатратами 64,1 кг у. т./м³ и 23,5 кВт·ч/м³ соответственно, а в 2021 г. – уже 40,3 кг у. т./м³ и 14 кВт·ч/м³.

Значительные изменения претерпел ассортимент керамзитового гравия. Современный рынок диктует спрос на более узкие и мелкие фракции. В настоящее время выпускаются фракции: 10–16 мм – 23%; 4–10 мм – 52%; 0–4 мм – 25%.

Изменилась и упаковка керамзита. На автоматизированной линии фасовки керамзит затаривают в мешки по 20–50 л.

Керамзитобетонные блоки нового поколения – новое качество жизни завода

Знаковым событием новой истории «Завода керамзитового гравия г.Новолукомль» стало освоение в 2004 г. выпуска стеновых керамзитобетонных блоков «ТермоКомфорт», аналога европейских блоков Super-K

и SuperTermo. С этого момента завод стал поставщиком не только традиционного полупродукта – керамзита различных марок, но и нового высококачественного востребованного рынком строительного материала с высокой добавленной стоимостью. А после сертификации производства блоков международным сертификационным органом BVQI (Bureau Veritas Quality International) они стали активно поставляться в страны Балтии и Европы.

В 2012 г. запущен новый цех производства керамзитобетонных изделий на оборудовании немецкой компании HESS. Линия вибропрессования позволила увеличить объем выпуска керамзитобетонных изделий в шесть раз и наладить выпуск новых видов продукции.

Керамзитобетонные блоки «ТермоКомфорт» обладают рядом неоспоримых технико-экономических преимуществ. Например, фрагмент стены из керамзитобетонного блока «ТермоКомфорт» толщиной 400 мм щелевого типа (13 рядов щелей) с пазогребневой системой (вертикальный шов стыкуется всухую) имеет термическое сопротивление в условиях эксплуатации Б – 3,718 м²·°С/Вт, что позволяет возведение ограждающей конструкции без дополнительного утепления. Морозостойкость данной конструкции не менее 125 циклов. Материал имеет класс огнестойкости А1 – негорюч.

Ассортимент керамзитобетонных блоков достаточно широкий:

- керамзитобетонные блоки «ТермоКомфорт» щелевого типа с пазогребневой системой на толщину стены 500, 400, 300 и 200 мм;
- полнотелые керамзитобетонные блоки с пазогребневой системой на толщину стены 200, 250, 300 мм, идеально подходят для вентилируемых фасадов;
- блок для межкомнатных перегородок толщиной 100 и 120 мм. Важной конкурентной характеристикой перегородочных блоков является индекс изоляции воздушного шума. Для перегородок 100 и 120 мм он составляет 49 и 51 дБ соответственно;
- одноканальные и двухканальные вентблоки;
- и-образный блок для сборных перемычек двух размеров.

В январе 2019 г. в цехе производства керамзитобетонных изделий запущена датская автоматическая стрейч-худ упаковочная машина Multi FleX1,





Применение керамзитобетонных блоков «ТермоКомфорт» в строительстве жилья и общественных зданий: а – готовые коттеджи в поселке «Липки» (Смолевический р-н Минской обл.); б – коттедж на две семьи в жилом микрорайоне «Сокол» (Минск); с – дом паломника при Свято-Елисаветинском женском монастыре (Минск)

что позволило увеличить скорость упаковки на 87% по сравнению с обмоткой стрейч-пленкой, существенно увеличить устойчивость паллеты с грузом при транспортировке, обеспечить защиту продукции на паллете с пяти сторон, получить более презентабельный внешний вид, снизить расходы на электроэнергию, обеспечить низкое потребление пленки.

Керамзитобетонные блоки – лучший материал для строительства

Блоки «ТермоКомфорт» широко известны и востребованы на строительных площадках Республики Беларусь, в Польше и Германии, странах Балтии и в России.

Благодаря высоким теплотехническим показателям и экологичности они использовались при строительстве центров «Мать и дитя» в г. Гатчине Ленинградской обл., Смоленске, Брянске, Пскове, Архангельске.

Высокая прочность, звукоизолирующая способность, долговечность (высокая морозостойкость), пожарная безопасность легли в основу выбора блоков «ТермоКомфорт» при реконструкции Национального аэропорта «Минск», строительстве Белорусской АЭС в г. Островце.

Блоки востребованы для малоэтажного и многоэтажного жилищного строительства, а также для возведения объектов гражданского назначения.

Ярким примером доверия застройщиков к керамзитобетонным блокам «ТермоКомфорт» является жилой комплекс «Квартал на Грушевке» в центре Минска, состоящий из шести 19–20-этажных домов и двух надземных шестизэтажных паркингов.

Вблизи столичного города-спутника Смолевичи строится микрорайон малоэтажной застройки «Липки» (Lipki village). На площади около 12 га возводятся 85 домов, а также объекты бытового обслуживания, объекты социальной и спортивной инфраструктуры. Дома отличаются оригинальной архитектурой и отделкой, при этом практически все конструктивные элементы выполнены из керамзитобетонных блоков.

Другой пример малоэтажной застройки – коттеджный поселок «Сокол» в жилом микрорайоне Минска, который строится по государственной программе для многодетных семей. Керамзитобетонные блоки также являются основным строительным материалом.

Используют керамзитобетонные блоки и при возведении культовых и общественных зданий. Например, при реализации крупномасштабного проекта по созданию духовно-просветительского центра «Ковчег» при Свято-Елисаветинском женском монастыре они использованы при строительстве монастырского подворья, воскресной школы, киноконцертного зала и др.

Наука – двигатель прогресса в производстве

Следует отметить, что многие успехи в модернизации производства, повышения качества продукции, управления свойствами конструкций из керамзитобетона были бы невозможны без тесного взаимодействия с отраслевой наукой. Директор «Завода керамзитового гравия г.Новолукомль» М.Г. Лазарашвили уделяет большое внимание сотрудничеству с ведущими вузами и научно-исследовательскими институтами. Специалисты предприятия постоянно участвуют в различных научных конференциях. Завод также является организатором семинаров и деловых встреч.

Новые перспективы использования керамзита руководство предприятия видит в производстве однослойных ограждающих панелей для индустриального домостроения. В Белорусском национальном техническом университете разработан состав керамзитопенобетона для изготовления ограждающих панелей плотностью 400–450 кг/м³ с высокими механическими и теплотехническими свойствами.

Возможность применения особо легкого керамзита в стеновых ограждающих конструкциях была предложена ГП «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.». Ученые института разработали конструкцию, в которой несущими являются внутренние панели, а ограждающие панели из керамзитопенобетона являются самонесущими. Особо легкий керамзит не только повышает теплофизические свойства панелей, но и приводит к снижению удельного веса конструкций. Это, в свою очередь, повышает их технологичность и снижает нагрузку на несущие элементы зданий. В качестве заполнителя используется особо легкий керамзит средней плотностью 200–250 кг/м³.

На базе КУП «Брестжилстрой» были изготовлены опытные партии стеновых панелей, проведены их комплексные испытания, которые дали положительные результаты: стеновые панели полностью удовлетворяют требованиям действующей нормативной базы Республики Беларусь.

В будущее – с уверенностью и оптимизмом!

После завершения очередных плановых мероприятий по модернизации производственная мощность предприятия достигнет 1 млн м³ керамзита в год, а производительность по блокам составит 200 тыс. м³ в год. Сырьем, уникальным по качеству, предприятие обеспечено на многие десятки лет.

Более 350 сотрудников составляют дружный, слаженный коллектив, где люди по-настоящему любят свое дело, болеют за свой завод, активно участвуют в общественной жизни. Для них созданы условия для высокопроизводительного труда, качественного отдыха, занятий спортом и творчеством.

В будущее заводчане смотрят с обоснованным оптимизмом.

УДК 631.879.32

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-25-29>

С.А. ТОКАРЕВА, директор (keramzit_union@mail.ru),

М.К. КАБАНОВА, канд. техн. наук

АО «НИИКерамзит» (443086, г. Самара, ул. Ерошевского, 3а)

Утилизация крупнотоннажных отходов. Переработка, обезвреживание и получение полезной продукции

Работа посвящена актуальной проблеме обезвреживания, утилизации и переработки крупнотоннажных отходов с получением полезной продукции, востребованной в стройкомплексе Российской Федерации. Рассмотрены вопросы утилизации золошлаковых отходов ТЭС, в том числе разработки по глинозольному керамзиту, шлакозиту, заполнителям специального назначения для жаростойких бетонов. Применение глинозольного керамзита и шлакозита решает многие задачи современного домостроения, в том числе изготовления: изделий для крупнопанельного строительства; керамзитобетонных блоков для коттеджей; монолитных конструкций в сборно-монолитном, каркасно-монолитном строительстве. Проведены исследования отходов бурения (образующихся при освоении нефтяных и газовых месторождений) с целью их переработки и получения востребованной продукции – пористых заполнителей. Основными преимуществами разработанной технологии двойного обезвреживания и утилизации буровых шламов является полный объем утилизации бурового шлама; высокая степень обезвреживания отхода с получением экологически безопасного материала; для строительства технологической линии используется доступное по цене отечественное оборудование.

Ключевые слова: промышленные отходы, золы, шлаки, золошлаковые отходы ТЭС, пористый заполнитель, отходы бурения, буровой шлам.

Для цитирования: Токарева С.А., Кабанова М.К. Утилизация крупнотоннажных отходов. Переработка, обезвреживание и получение полезной продукции // *Строительные материалы*. 2022. № 5. С. 25–29. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-25-29>

S.A. TOKAREVA, Director, (keramzit_union@mail.ru), M.K. KABANOVA, Candidate of Sciences (Engineering)
NIIKeramzit AO (3a, Eroshevskogo Street, Samara, 443086 Russian Federation)

Utilization of Large-Tonnage Waste. Processing, Neutralization and Obtaining Useful Products

The work is devoted to the actual problem of neutralization, disposal and processing of large-tonnage waste to obtain useful products that are in demand in the construction complex of the Russian Federation. The issues of utilization of ash and slag wastes from thermal power plants, including the development of clay-ash expanded clay, slag-cosite, special-purpose aggregates for heat-resistant concretes, are considered. The use of clay-ash expanded clay and slag-cosite stone solves many problems of modern housing construction, including manufacturing: products for large-panel construction; claydite-concrete blocks for cottages, monolithic structures in prefabricated-monolithic, frame-monolithic construction. Drilling wastes (formed during the development of oil and gas fields) have been studied in order to process them and obtain demanded products – porous aggregates. The main advantages of the developed technology of double neutralization and disposal of drilling cuttings are the full volume of drilling cuttings utilization; a high degree of waste neutralization with obtaining an environmentally friendly material; for the construction of the technological line, affordable domestic equipment is used.

Keywords: industrial waste, ash, slags, ash and slag waste from thermal power plants, porous aggregate, drilling waste, drilling cuttings.

For citation: Tokareva S.A., Kabanova M.K. Utilization of large-tonnage waste. Processing, neutralization and obtaining useful products. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 5, pp. 25–29. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-25-29>

В институте НИИКерамзит за 60-летний период работы выполнен большой объем исследований, опытных проверок и промышленного внедрения по утилизации крупнотоннажных отходов.

В настоящее время проблема обезвреживания и утилизации крупнотоннажных отходов стоит чрезвычайно остро. Применение находит менее 20% ежегодного выхода отходов, что не решает проблем освобождения земель от отвалов и улучшения экологии [1, 2].

Целью настоящей работы явилось рассмотрение вопроса возможности переработки золошлаковых отходов, отходов бурения – буровых шламов с выбуренной породой.

На электростанциях России от сжигания топлива ежегодно образуется около 90 млн т золошлаковых отходов. При этом объем накопленных в России золошлаковых отходов приближается к 2 млрд т, размещенных на территориях более чем 22000 га [3].

Золошлаковые отвалы занимают большие площади, поскольку их объем составляет 15–20% от сжигаемого твердого топлива. Содержание таких запасов требует значительных эксплуатационных затрат, которые влияют на повышение себестоимости производства энергоносителей. Отвалы являются источником загрязнения окружающей среды, представляют опасность для здоровья населения и угрозу растительному и животному миру. Существенным фактором являются также потенциальные экономические потери, связанные с тем, что перспективное сырье не находит применения [4–6].

Многолетние работы, выполняемые институтом НИИКерамзит, были посвящены проблемам утилизации золошлаковых отходов ТЭС, в том числе разработкам по глинозольному керамзиту, шлакозиту, заполнителям специального назначения для жаростойких бетонов.

При проведении работ учитывали имеющийся опыт института НИИКерамзит, использовались нормативные, а также разработанные в институте методики и приемы лабораторно-технологических испытаний.

Глинозольный керамзит – пористый заполнитель, получаемый обжигом гранул, сформованных из шихты, состоящей из золы и глины. В зависимости от свойств исходных материалов количество золы в шихте варьируется в пределах 20–70%.

Для производства глинозольного керамзита не требуется строительства новых специализированных предприятий. Опыт показал, что производство может успешно функционировать на уже действующих предприятиях керамзитовой промышленности [7], которые располагают кадрами и сырьевой базой, необходимыми транспортными средствами. Это способствовало достаточно интенсивному освоению технологии на многих предприятиях страны в 1970–1980-х гг.

Применение золы в качестве составляющей шихты позволяет регулировать химический состав шихты и решать задачи получения заполнителей с заданными свойствами: керамзита с высокой прочностью, керамзита для жаростойких бетонов и высокотемпературной теплоизоляции.

Это дало возможность расширить сферы применения керамзита, например, жаростойкий глинозольный керамзит был успешно использован для теплоизоляции расплавленного металла при внедрении прогрессивного метода непрерывной разливки стали.

Значимым результатом использования добавки золы является повышение прочности керамзита. На Алексинском заводе ЖБИ в цехе керамзитового гравия при введении 30–70% золы ТЭС от сжигания углей Подмосквовного бассейна достигнуто повышение прочности керамзита на 10–62%. За счет использования высокопрочного глинозольного керамзита получены легкие бетоны марок М200–250–300 конструкционного назначения. Это имеет существенное значение для многих регионов, где отсутствует гранитный щебень, который приходится возить на дальние расстояния.

Наилучшие результаты дает использование золы с высокой удельной поверхностью и повышенным содержанием Al_2O_3 . Работы с золой Рефтинской ГРЭС (Экибастузский бассейн), содержащей Al_2O_3 в количестве 26,6%, показали еще более высокие результаты: прочность 81–87 кгс/см² была получена для керамзита марки М800. Такой заполнитель пригоден для конструкционных легких бетонов самых высоких марок М400–500–600.

На основании значительного многолетнего опыта АО «НИИКерамзит» разработаны межгосударственные стандарты на золы, шлаки и золошлаковые смеси ТЭС для производства искусственных пористых заполнителей, а также на пористые заполнители на основе зол и шлаков ТЭС (ГОСТ 33928–2016 «Заполнители искусственные пористые на основе зол и шлаков ТЭС. Технические условия»;

ГОСТ Р 57789–2017 «Золы, шлаки и золошлаковые смеси ТЭС для производства искусственных пористых заполнителей. Технические условия»).

Согласно ГОСТ Р 57789–2017 к исходным сырьевым компонентам и шихте предъявляются определенные требования: в частности, дисперсность золы по удельной поверхности должна быть более 2000 см²/г, но лучшие результаты для повышения качества дает использование золы с удельной поверхностью 3000 см²/г; содержание в золе остатков несоревшего топлива не должно превышать 3%.

Шлакозит представляет собой искусственный пористый заполнитель, соответствующий по насыпной плотности легкому и особо легкому керамзиту [8, 9]. Шлакозит получают на базе технологии керамзитового производства при определенной ее модернизации. Сырьем для получения шлакозита служит молотый шлак тепловых электростанций. Разработанная в НИИКерамзит технология производства позволяет выпускать высокопористый шлакозитовый гравий фракций 5–10, 10–20, 20–40 мм и шлакозитовый песок фракций менее 5 мм.

Благодаря высокой пористости шлакозит обладает низкими коэффициентами теплопроводности – 0,05–0,055 и 0,06–0,07 ккал/(м·ч·°С), эти показатели соответствуют маркам особо легкого и легкого шлакозита с насыпной плотностью 150–200 и 200–300 кг/м³. Такой заполнитель позволяет изготавливать легкие бетоны с наиболее высокими теплоизоляционными характеристиками, что обеспечивает высокую эффективность ограждающих конструкций для современного домостроения.

На основе разработок института НИИКерамзит была построена и успешно функционировала опытно-промышленная технологическая линия получения шлакозита на Тольяттинской ТЭЦ.

Применение глинозольного керамзита и шлакозита решает многие задачи современного домостроения, в том числе: изготовление всей линейки изделий для крупнопанельного строительства (от ограждающих панелей до легкобетонных несущих конструкций); изготовление керамзитобетонных блоков для коттеджного, а также для малоэтажного строительства на селе; изготовление монолитных конструкций в сборно-монолитном, каркасно-монолитном строительстве.

Эффективным направлением использования высокопрочного глинозольного гравия может быть также современное транспортное строительство, изготовление монолитного дорожного цементобетона, дорожных и аэродромных плит, применение в асфальтобетонах и битумоминеральных смесях.

Работы, выполненные АО «НИИКерамзит» по технологии утилизации отходов бурения – буровых шламов с выбуренной породой – по их обезвреживанию с получением полезной продукции, имеют большое значение в плане экологии и технико-экономической перспективности.

Освоение нефтяных и газовых месторождений, рост нефтедобычи в нашей стране привели к образо-

ванию больших объемов отходов бурения. Выход отходов бурения составляет от 0,2 до 0,6 м³ на 1 м проходки. Такие значительные объемы отходов оказывают мощное негативное техногенное воздействие на природную среду и человека [10].

Наибольшую опасность для объектов природной среды представляют производственно-технологические отходы бурения, которые накапливаются и хранятся на территории буровых [11]. Отходы содержат широкий спектр загрязнителей минерального и органического состава, представленных материалами и химерагентами, используемыми для приготовления и обработки буровых растворов. Шламовые амбары занимают большие площади, а их содержимое является постоянным источником загрязнения окружающей среды. Одна из угроз – затопление территории буровой вследствие паводка в период весеннего половодья или интенсивного таяния снегов и разлива при этом содержимого шламовых амбаров. Только в Ханты-Мансийском автономном округе накоплено огромное количество отходов бурения – 7–8 млн т [12].

В НИИКерамзит проведены исследования отходов бурения с выбуренной породой с целью переработки и получения востребованной продукции – пористых заполнителей. Работа проводилась на пробах буровых шламов, образовавшихся при бурении эксплуатационных скважин в ХМАО.

Как показали испытания, шламы являются скоагулированными структурами со значительным тиксотропным упрочнением, при высокой влажности (52–53,5%) находятся в состоянии густой пасты, практически не обладающей текучестью. Плотность шламов составляет 1,35–1,45 г/см³, показатель рН=8,7–10,3. Размеры частиц буровых шламов варьируют в широких пределах; преимущественное содержание фракций менее 0,06 мм – 78–80%; содержание крупнозернистых включений (остаток на сите 0,5 мм) – 3,3–4% (кварц, пирит, пиритизированная опока).

Проведен комплексный химико-минералогический анализ. Буровые шламы характеризуются полиминеральным составом с преобладанием монтмориллонито-слюдистых минералов, а также содержат гидрослюдистые и каолинитовые минералы; имеются примеси кварца, полевых шпатов и кальцита.

Химический состав представлен в таблице.

По результатам проведенных исследований установлено, что химико-минералогический состав буровых шламов находится в пределах, соответствующих требованиям к сырью для производства керамзита; показатели огнеупорности, пластичности и содержания крупнозернистых включений также не выходят за рамки этих нормативов, ГОСТ 32026–2012 «Сырье

глинистое для производства керамзитовых гравия, щебня и песка. Технические условия» [13].

При пластическом формовании из шлама получаются плотные, однородные по структуре сырьевые гранулы, хорошо сохраняющие форму и не разрушающиеся при механическом перемещении по технологической линии. Проводилось изучение поведения гранул в процессе обжига, изменения показателей полуфабриката в широком интервале температуры, вплоть до температуры начала слипания гранул. Проведен большой объем испытаний. В интервале температуры 900–1050°C происходят активные физико-химические процессы спекания материала, что приводит к образованию стеклокерамической структуры. В одном из экспериментов получен гравий плотностью 1,4 г/см³, прочностью более 50 кгс/см².

Долговечность полученного в процессе эксперимента гравия была экспериментально подтверждена.

Потери массы после кипячения очень низкие (менее 1%), что свидетельствует об устойчивости структуры.

Коэффициент размягчения для гравия, полученного обжигом при температуре 1050°C, равен K_p=0,9, что характеризует стабильность структуры.

После испытания образцов в растворе сернистой кислоты (морозостойкость), обожженных при температуре 1050°C, потери массы составляют 1,15%, а при температуре обжига 1100°C – 0,38%.

Водопоглощение гравия менее 12% соответствует нормативным требованиям на керамзитовый гравий (W_{погл}≤15%).

Результаты проведенных испытаний свидетельствуют о достаточной прочности, стабильности и неразрушаемости структуры образцов. На основании результатов выполненных исследований сделан вывод о возможности использования для утилизации буровых шламов в качестве базового варианта керамзитовой технологии с определенной модернизацией, учитывающей особенности шлама.

Разработанные технологические параметры процесса переработки буровых шламов с целью их обезвреживания и утилизации полностью подтвердили свою эффективность при реализации технологии в промышленных условиях.

Технология обеспечивает на стадии обжига завершение процесса обезвреживания буровых шламов, поскольку все их составляющие (в том числе возможные примеси тяжелых металлов) в процессе твердофазового и последующего смешанного и жидкотного спекания связываются в прочную керамическую структуру. Об этом свидетельствуют проведенные испытания долговечности материалов после обжига и санитарно-эпидемиологическое заключение.

Содержание оксидов, мас. %										
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	ППП	Органические вещества
57,50–62,63	11,50–13,25	5,65–6,07	0,55–0,6	4,32–5,14	1–1,15	1,75–1,9	0,89–1,03	1,6–1,99	7,08–8,05	2,51–3

Преимущества разработанной технологии двойного обезвреживания и утилизации буровых шламов:

– полный объем утилизации бурового шлама (без отходов) осуществляется за один технологический цикл с получением продукции, обладающей потребительским спросом;

– высокая производительность, а значит, возможность утилизации большого объема отходов – до 100–150 тыс. м³/г. бурового шлама (на одной технологической линии). В случае организации модульного варианта производительность может быть увеличена до 200–300 тыс. м³/г. и т. д.;

– возможность утилизации буровых шламов текущего выхода, а также накопленных в шламовых амбарах;

– высокая степень обезвреживания отхода с получением экологически безопасного материала (строительный щебень, гравий, песок);

– для строительства технологической линии используется доступное по цене отечественное оборудование, надежность которого подтверждена многолетней промышленной эксплуатацией. Предусматривается автоматизация процесса.

Сферы применения строительного гравия и щебня, получаемых из шламовых отходов буровых установок по разработанной технологии:

– дорожное строительство, отсыпка дорог, площадок;

– рекультивация земель (засыпка оврагов, болот, торфяников);

– обустройство полигонов и подъездных путей к рекультивируемому участкам;

– строительство, реконструкция и обустройство линейных сооружений (магистральные трубопроводы, отводы от них, отсыпка трасс трубопроводов, притрассовых карьеров);

– заполнители для конструкционных легких бетонов;

– добавки в почвогрунты для технических культур и лесонасаждений.

Получение таких строительных материалов имеет большое значение для удаленных нефтегазовых регионов с учетом имеющегося у них дефицита строительных материалов и дороговизны их дальнейшей транспортировки. Строительные материалы, получаемые по разработанной технологии, могут восполнить существующий дефицит и снизить остроту проблем, покрывая часть этих потребностей

Помимо экологического аспекта – снижения негативного воздействия на окружающую среду, уменьшения площадей, занятых отходами, снижения затрат на содержание и рекультивацию шламовых амбаров, следует учитывать и социально-экономический эффект: уменьшение платы за размещение отходов, получение прибыли от реализации продукта, создание дополнительных рабочих мест.

Список литературы

1. Тарасова Г.И. Проблема утилизации крупнотоннажных отходов промышленности. *Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды. сборник докладов международной научно-технической конференции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.* 2015. С. 367–374.
2. Москаленко А.П. Исследование рыночного сегмента крупнотоннажных отходов теплоэнергетики // *Труды Кубанского государственного аграрного университета.* 2006. № 1. С. 305–322.
3. Пичугин Е.А. Аналитический обзор накопленного в Российской Федерации опыта вовлечения в хозяйственный оборот золошлаковых отходов теплоэлектростанций // *Проблемы региональной экологии.* 2019. № 4. С. 77–87.
4. Заурбеков Ш.Ш., Муртазаев С.А.Ю., Успанова А.С., Сайдумов М.С. Использование золошлаковых отходов ТЭЦ г. Грозного для получения строительных композитов // *Экология и промышленность России.* 2011. № 1. С. 26–28.
5. Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г., Волланд С. Технология получения минеральных волокон путем утилизации золошлаковых отходов и отходов горючих сланцев // *Стекло и керамика.* 2011. № 8. С. 3–5.

References

1. Tarasova G.I. The problem of disposal of large-tonnage industrial waste. *Energy and resource-saving environmentally friendly chemical-technological processes of environmental protection. collection of reports of the international scientific and technical conference. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov.* 2015, pp. 367–374. (In Russian).
2. Moskalenko A.P. Research of the market segment of large-tonnage wastes of thermal power engineering. *Trudi of the Kuban State Agrarian University.* 2006. No. 1, pp. 305–322. (In Russian).
3. Pichugin E.A. Analytical review of the experience accumulated in the Russian Federation of involving ash and slag waste from thermal power plants in the economic circulation. *Problems of regional ecology.* 2019. No. 4, pp. 77–87. (In Russian).
4. Zaurbekov Sh.Sh., Murtazaev S.A.Yu., Uspanova A.S., Saidumov M.S. The use of ash and slag waste from the thermal power plant of the city of Grozny for the production of building composites. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii.* 2011. No. 1, pp. 26–28. (In Russian).
5. Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Volokitin O.G., Volland S. Technology for obtaining mineral fibers by recycling ash and slag waste and oil shale waste. *Steklo i keramika.* 2011. No. 8, pp. 3–5. (In Russian).
6. Voronina S.A., Soboleva S.V. Utilization of ash and slag wastes of OAO Krasnoyarsk CHPP-1 with the

6. Воронина С.А., Соболева С.В. Утилизация золошлаковых отходов ОАО «Красноярская ТЭЦ-1» с получением глинозольного керамзита. *Экологическое образование и природопользование в инновационном развитии региона: Сборник статей по материалам межрегиональной научно-практической конференции школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых*. 2016. С. 187–188.
7. Токарева С.А., Петров В.П. Кинетика горения углерода в гранулах при обжиге глинозольного керамзита во вращающихся печах // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2011. № 5 (629). С. 20–27.
8. Коренькова С.Ф., Петров В.П., Максимов Б.А. Физико-механические свойства шлакозита и шлакозитобетона // *Строительные материалы*. 2002. № 10. С. 20–21.
9. Новикова В.И., Петухов В.В., Терехова М.С., Ласман И.А. Шлаки в производстве легкого композиционного заполнителя. *СТРОИТЕЛЬСТВО-2016. Материалы II Брянского международного инновационного форума*. 2016. С. 99–103.
10. Быков Н.Ю., Гуменюк А.С., Литвиненко В.И. Охрана окружающей среды при строительстве скважин. М.: ВНИИОЭНГ. 1985. 37 с.
11. Будников В.Ф., Булатов А.И., Макаренко П.П. Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности. М.: Недра, 1997. 483 с.
12. Шевелева Т.Н., Рамзова С.А. Отходы производства. *Информационный бюллетень «О состоянии окружающей природной среды Ханты-Мансийского автономного округа»*. Ханты-Мансийск: НПЦ «Мониторинг», 2003. 85 с.
13. Онацкий С.П. Производство керамзита. М.: Стройиздат, 1987. 331 с.
7. Tokareva S.A., Petrov V.P. Kinetics of combustion of carbon in granules during the firing of clay-ash expanded clay in rotary kilns. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2011. No. 5 (629), pp. 20–27. (In Russian).
8. Korenkova S.F., Petrov V.P., Maksimov B.A. Physico-mechanical properties of slag stone and slag concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2002. No. 10, pp. 20–21. (In Russian).
9. Novikova V.I., Petukhov V.V., Terekhova M.S., Lasman I.A. Slags in the production of light composite filler. *CONSTRUCTION-2016. Materials of the II Bryansk International Innovation Forum*. 2016, pp. 99–103. (In Russian).
10. Bykov N.Yu., Gumenyuk A.S., Litvinenko V.I. Okhrana okruzhayushchey sredy pri stroitel'stve skvazhin [Environmental protection during well construction]. Moscow: VNIIOENG. 1985. 37 p.
11. Budnikov V.F., Bulatov A.I., Makarenko P.P. Okhrana okruzhayushchey sredy v neftegazovoy promyshlennosti [Environmental protection in the oil and gas industry]. Moscow: Nedra. 1997. 483 p.
12. Sheveleva T.N., Ramzova S.A. Waste production. *Information bulletin "On the state of the natural environment of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug"*. Khanty-Mansiysk: NPTs "Monitoring", 2003. 85 p. (In Russian).
13. Onatsky S.P. Proizvodstva keramzita [Expanded clay production]. Moscow: Stroyizdat. 1987. 331 p.

НОВОСТИ

КНАУФ сертифицирует специалистов по строительству и ремонту сервиса «Яндекс Услуги»



Строители-отделочники, отучившиеся на курсах Академии КНАУФ и успешно прошедшие сертификацию, получили возможность дополнить свой профиль на «Яндекс Услуги» бейджем «Сертифицирован КНАУФ». Подтверждение профессиональных знаний от крупнейшего мирового производителя строительных материалов поможет пользователям в поиске квалифицированных специалистов.

Для специалистов «Яндекс Услуги» на сайте КНАУФ создана удобная форма регистрации сертификатов, полученных до старта кампании, а также специальный раздел для новой записи на курсы в рамках совместной программы Академии КНАУФ и Сервиса. Очное обучение доступно для городов-миллионников и городов с учебными центрами КНАУФ: Красногорск, Новосибирск, Красноярск, Санкт-Петербург, Краснодар, Казань, Челябинск, Екатеринбург, Пермь, Уфа, Омск, Новомосковск.

Компания КНАУФ ведет обучение современным строительным технологиям в России с 1995 г., когда в подмосковном Красногорске открылся первый собственный учебный центр компании. В 2022 г. в стране действуют шесть учебных центров КНАУФ, в дополнение к ним – ресурсные и консультационные центры на базе колледжей и вузов. Руководитель Академии КНАУФ Е.В. Парикова отметила, что на первом этапе ожидается более 300 заявок на получение статуса «Сертифицирован КНАУФ» и прохождение дальнейшего профессионального обучения в рамках совместной программы с «Яндекс Услуги». За первые несколько недель было подано более 40 заявок на обучение. В набор доступных для специалистов курсов вошли самые востребованные программы обучения Академии КНАУФ по комплексным системам и строительно-отделочным технологиям. КНАУФ намерен обеспечить постоянно действующий канал для обратной связи с участниками программы, чтобы гибко реагировать на изменение запроса со стороны профессионалов рынка частного строительства и ремонта.

По материалам КНАУФ
www.knauf.ru

С.А. МИЗЮРЯЕВ¹, канд. техн. наук (mizuriaev@gmail.com),
А.Ю. ЖИГУЛИНА¹, канд. техн. наук (auzhigulina@mail.ru),
В.М. ГОРИН², канд. техн. наук (keramzit_union@mail.ru)

¹ Самарский государственный технический университет (443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244)

² АО «НИИКерамзит» (443086, г. Самара, ул. Ерошевского, 3А)

Искусственный пористый песок для легких бетонов

Обоснована эффективность использования технологии производства искусственного пористого заполнителя для решения проблем, связанных с использованием в легких бетонах мелкого заполнителя. Установлено, что на основе модифицированного жидкого стекла с целью изменения реологических характеристик возможно формирование сырьевых гранул устойчивой формы, способных при термообработке при 150–250°C вспучиваться, образуя гранулированный материал размером не более 5 мм. Установлено, что для повышения прочности и водостойкости в исходную композицию эффективно вводить глинистые материалы с последующим обжигом при 800–850°C.

Ключевые слова: легкие бетоны, керамзитовый гравий, мелкий пористый заполнитель, модифицированное жидкое стекло, термообработка, обжиг.

Для цитирования: Мизюряев С.А., Жигулина А.Ю., Горин В.М. Искусственный пористый песок для легких бетонов // *Строительные материалы*. 2022. № 5. С. 30–33. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-30-33>

S.A. MIZYURYAEV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (mizuriaev@gmail.com),

A.Yu. ZHIGULINA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (auzhigulina@mail.ru);

V.M. GORIN², Candidate of Sciences (Engineering) (keramzit_union@mail.ru)

¹ Samara State Technical University (244, Molodogvardeyskaya Street, Samara, 443100, Russian Federation)

² NIIKeramzit AO (3A, Eroshhevskogo Street, Samara, 443086, Russian Federation)

Artificial Porous Sand for Light Concretes

The efficiency of using the technology for the production of artificial porous aggregate to solve problems associated with the use of fine filler in lightweight concrete is substantiated. It has been established that on the basis of modified liquid glass, in order to change the rheological characteristics, it is possible to form stable-shaped raw granules that can swell during heat treatment at 150–250°C, forming a granular material with a size of no more than 5 mm. It has been established that to increase the strength and water resistance, it is effective to introduce clay materials into the initial composition, followed by firing at 800–850°C.

Keywords: light concretes, expanded clay gravel, fine porous aggregate, modified liquid glass, heat treatment, firing.

For citation: Misyuryaev S.A., Zhigulina A.Yu., Gorin V.M. Artificial porous sand for light concretes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 5, pp. 30–33. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-30-33>

Постоянно и обоснованно возрастает роль и значение легких бетонов. Особенно это стало заметно с ростом требований по комфортности, пожаробезопасности и экологичности, так как легкие бетоны изготавливаются в своем большинстве из неорганических, негорючих и стойких материалов [1–3].

Наиболее значимым компонентом в легких бетонах, обеспечивающим указанную эффективность, является легкий заполнитель. В большинстве случаев эту роль с успехом выполняет керамзитовый гравий, используемый в качестве крупного заполнителя. Российская промышленность с помощью науки успешно освоила производство керамзитового гравия широкой номенклатуры как по крупности, так и по плотности [4–6].

Но с применением в легких бетонах мелкого заполнителя (песка), т. е. зерен размером менее 5 мм, появились определенные трудности. Отмечается, что при производстве керамзитовых заполнителей наблюдается диспропорция в выпуске крупных и мелких фракций. Объем выпуска керамзитового песка составляет около 10% от общего производства керамзитовых заполнителей, в то время как в соста-

ве легких бетонов доля мелкого заполнителя составляет в среднем 45–55% объема крупного заполнителя. К тому же следует отметить, что указанный керамзитовый песок представляет собой либо высевки, либо является результатом дробления крупных гранул. Поэтому на практике абсолютное большинство производителей легких бетонов используют в качестве мелкого заполнителя рядовой кварцевый песок, что, естественно, отрицательно сказывается на плотности и теплоизоляционных характеристиках таких бетонов.

Недостаток объемов отдельного производства керамзитового песка из вспучивающихся глин связан с трудностью получения требуемой пористости и, как следствие, плотности.

При обжиге керамзитовых глин внутри гранул происходит образование пористой структуры за счет процессов восстановления. А на поверхности гранул за счет протекания процессов окисления вспучивание практически отсутствует, при этом образуется корочка повышенной плотности. Такая уплотненная корочка толщиной 1–3 мм благоприятно сказывается на характеристиках обычного керамзитового гравия, так

как при этом повышается прочность гранул, снижается водопотребность, внутренняя высокопористая структура остается незаполненной, что благоприятно сказывается на образовании цементного камня.

Подобные процессы при обжиге отформованных гранул с целью получения мелкого заполнителя приводят к тому, что практически весь объем получаемого мелкого заполнителя составляет плотная структура, аналогичная структуре корочки, а высокопористой структуры практически не наблюдается. Решение заключается в разработке и внедрении такой технологии, при которой по всему обжигаемому объему создается восстановительная среда, например за счет замены процессов сгорания топлива на электропрогрев. Но такая технология крайне неэффективна из-за высокой стоимости производства и соответственно получаемого продукта.

Другим способом является получение керамзитового песка дроблением крупных вспученных гранул. Его, по мнению авторов, использовать не следует. Получаемый дроблением заполнитель обладает открытой пористостью, которая при приготовлении бетонной смеси активно заполняется цементным тестом.

Это приводит, во-первых, к тому, что в сухом виде дробленый керамзитовый песок, немного отличающийся по плотности от керамзитового гравия, при работе в бетоне не снижает плотности бетона и не отличается по влиянию на теплозащитные характеристики от применения более дешевого спекшегося керамического заполнителя. Во-вторых, бетонные смеси на дробленном керамзитовом песке требуют повышенного расхода цемента и имеют пониженную удобоукладываемость.

Решение проблемы получения мелкого пористого заполнителя заключается в использовании иных процессов поризации, отличающихся от процессов, протекающих при обжиге и вспучивании глин.

Таким приемом, например, является процесс поризации гидратированных силикатов натрия, одним из представителей которых выступает рядовое жидкое стекло. Поризация жидкого стекла при относительно низкой температуре известна давно и активно применяется [7, 8]. При этом отмечается, что уже при температуре 150–250°C первоначальный объем жидкого стекла увеличивается в 30–50 раз. Недостатки образующихся высокопористых структур – отсутствие какой-либо формы, их крайне низкая прочность и водостойкость.

Инновационная технология получения водостойкого гранулированного заполнителя на основе гидратированного силикатнатриевого вяжущего была разработана в ходе совместных исследований СамГТУ и АО «НИИКерамзит». В основу технологии была положена модификация жидкого стекла, приводящая к его частичной коагуляции [9].

Такая модификация жидкого стекла значительно увеличивала его вязкость, переводя из текучего состояния в вязкоупругое. Это обеспечивало возможность формировать сырьевые гранулы практически лю-

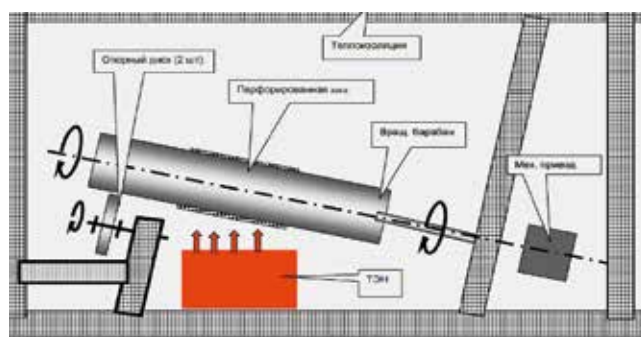


Рис. 1. Схема действующей лабораторной модели барабанной печи
Fig. 1. Scheme of the operating laboratory model of a drum furnace

бого размера и формы, которые можно было термобрабатывать для вспучивания в сыпучем виде.

Для отработки технологии, максимально приближенной к производственным условиям, термообработка и вспучивание отформованных гранул производились на лабораторной модели вращающейся барабанной печи при температуре 250–300°C (рис. 1).

Для улучшения эксплуатационных характеристик одновременно с модификацией в жидкое стекло вводился тонкомолотый компонент в виде размолотой глины. На этапе вспучивания глина выступала в роли инертной добавки, отчасти влияющей на структурообразование.

В ходе исследований была установлена возможность придания полученному материалу водостойкости. Это осуществлялось путем обжига уже при температуре 800°C.

При помощи рентгеноструктурных исследований (рис. 2) полученного материала было выявлено, что в результате обжига происходит взаимодействие компонентов, при этом уменьшается количество кристаллических, очевидно, неустойчивых образований и происходит их перекристаллизация в устойчивые новообразования (пики 45,3 и 31,6), образование муллита, повышающие водостойкость композиции.

Полученный таким образом мелкий пористый заполнитель (рис. 3) представляет собой гранулы размером менее 5 мм с достаточной прочностью и стойкостью.

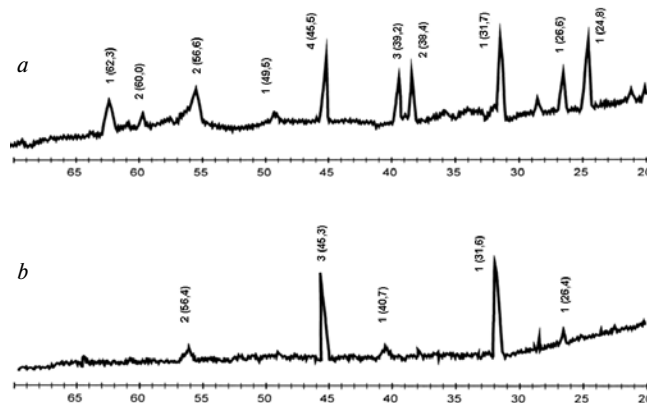


Рис. 2. Рентгенограммы: а – после 300°C; б – после 800°C: 1 – $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$; 2 – $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$; 3 – $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$; 4 – $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. (Обозначения 1–4 указаны на рисунке перед скобкой)

Fig. 2. X-ray patterns: a – after 300°C; b – after 800°C: 1 – $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$; 2 – $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$; 3 – $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$; 4 – $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. (Designations 1–4 are indicated in the figure before the bracket)



Рис. 3. Искусственный пористый мелкий заполнитель и его структура
Fig. 3. Artificial porous fine aggregate and its structure



Основные характеристики полученных гранулы
The main characteristics of the obtained granules

Показатель	После вспучивания при 250°C	После обжига при 800°C
Максимальный размер	До 5 мм	До 5 мм
Насыпная плотность	0,42 г/см ³	0,44 г/см ³
Структура	Пористая	Пористая
Прочность	1 ед.	5 ед.
Водостойкость	~0,5 ч	Более 12 ч

Основные характеристики полученных гранул приведены в таблице.

Следует отметить заметное увеличение прочности после обжига при 800°C. Ввиду небольшой партии полученного мелкого заполнителя его прочность определялась лептическим способом (сдавливанием вручную отдельных гранул).

Список литературы

1. Ярмаковский В.Н., Бремнер Т. Легкий бетон: настоящее и будущее // *Строительный эксперт*. 2005. № 20. С. 5–7.
2. Жигулина А.Ю., Чикноворьян А.Г., Мизюряев С.А. Применение легкобетонных ограждающих конструкций для повышения комфортности жилья // *Градостроительство и архитектура*. 2020. Т. 10. № 2 (39). С. 57–61.
3. Юдин И.В., Ярмаковский В.Н. Инновационные технологии в индустриальном домостроении с использованием конструкционных легких бетонов // *Строительные материалы*. 2010. № 1. С. 15–17.

Водостойкость определялась помещением гранул в воду с последующим осмотром и определением прочности лептическим способом.

Гранулы после вспучивания начинали разрушаться через 30 мин нахождения в воде. Обожженные гранулы через 24 ч показали высокую стойкость и прочность (сохранили форму и не разрушались при ручном сдавливании), что свидетельствует об их достаточной водостойкости.

По итогам работы можно сделать следующие обоснованные выводы:

1. Разработанные составы и технологические приемы позволяют получать вспучиванием пористый гранулированный материал, пригодный для использования в легких бетонах в качестве мелкого заполнителя.
2. Для производства указанного мелкого заполнителя возможно применение стандартного оборудования для производства керамзитового гравия, причем температура обжига не превышает 850°C.

References

1. Yarmakovskiy V.N., Bremner T. Lightweight concrete: present and future. *Stroitelny ekspert*. 2005. No. 20, pp. 5–7. (In Russian).
2. Zhigulina A.Yu., Chiknovoryan A.G., Mizuryayev S.A. The use of lightweight concrete building envelopes to improve the comfort of housing. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura*. 2020. Vol. 10. No. 2 (39), pp. 57–61. (In Russian).
3. Yudin I.V., Yarmakovskiy V.N. Innovative technologies in industrial housing construction using structural lightweight concrete. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2010. No. 1, pp. 15–17. (In Russian).

4. Горин В.М. Расширение области применения керамзитового гравия // *Строительные материалы*. 2003. № 11. С. 19–21.
5. Горин В.М., Токарева С.А., Вытчиков Ю.С. Современные ограждающие конструкции из керамзитобетона для энергоэффективных зданий // *Строительные материалы*. 2011. № 3. С. 34–36.
6. Туева Т.В., Суднищина В.В. Влияние мелкого заполнителя на теплопроводность легкого и тяжелого бетонов // *Вестник Череповецкого государственного университета*. 2009. № 2 (21). С. 121–123.
7. Григорьев П.Н., Матвеев М.А. Растворимое стекло. М.: Стройиздат, 1956. 442 с.
8. Зин Мин Хтет, Тихомирова И.Н. Теплоизоляционный материал на основе вспученного перлита и вспененного минерального связующего // *Строительные материалы*. 2019. № 1–2. С. 107–112. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-767-1-2-107-112>
9. Мизюряев С.А., Мамонов А.Н., Горин В.М., Токарева С.А. Структурированный высокопористый силикатнатриевый материал повышенной тепло- и термостойкости // *Строительные материалы*. 2011. № 7. С. 8–91.
4. Gorin V.M. Expansion of the field of application of expanded clay gravel. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2003. No. 11, pp. 19–21. (In Russian).
5. Gorin V.M., Tokareva S.A., Vytchikov Yu.S. Modern enclosing structures made of expanded clay concrete for energy-efficient buildings. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 3, pp. 34–36. (In Russian).
6. Tueva T.V., Sudnitsina V.V. Influence of fine filler on the thermal conductivity of light and heavy concrete. *Vestnik of the Cherepovets State University*. 2009. No. 2 (21), pp. 121–123. (In Russian).
7. Grigoriev P.N., Matveev M.A. Rastvorimoye steklo [Soluble glass]. Moscow: Stroyizdat. 1956. 442 p.
8. Zin Min Htet, Tikhomirova I.N. Heat insulation material on the basis of expanded perlite and expanded mineral binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 1–2, pp. 107–112. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-767-1-2-107-112> (In Russian).
9. Mizyuryaev S.A., Mamonov A.N., Gorin V.M., Tokareva S.A. Structured highly porous sodium silicate material of increased heat and thermal resistance. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 7, pp. 8–9. (In Russian).

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**В издательстве «Стройматериалы» вы можете приобрести книги:****Монография «Защита деревянных конструкций»**

Автор – Ломакин А.Д.

Рассмотрены вопросы конструкционной и химической защиты деревянных конструкций, используемых в малоэтажном домостроении, при строительстве зданий и сооружений гражданского и промышленного назначения, в том числе, с химически агрессивной средой, а также открытых сооружений (автодорожных и пешеходных мостов, опор ЛЭП и др.). Освещены вопросы защиты от эксплуатационных воздействий и возгорания несущих конструкций из клееной древесины и ЛВЛ и приведено краткое описание наиболее эффективных средств и способов их защиты. Описаны методы оценки защитных свойств покрытий для древесины, методика и результаты натурных климатических испытаний покрытий на образцах и фрагментах конструкций. Приведены методика и результаты мониторинга влажностного состояния несущих клееных деревянных конструкций в процессе эксплуатации.

**Монография «Производство деревянных клееных конструкций»**

Автор – заслуженный деятель науки России, д-р техн. наук Ковальчук Л.М.

В книге рассмотрены основные вопросы технологии изготовления ДКК, показаны области их применения, описаны материалы для их изготовления. Особое внимание уделено вопросам оценки качества, методам испытаний, приемке и сертификации клееных конструкций. В книге приведен полный перечень отечественных и зарубежных нормативных документов, регламентирующих производство и применение ДКК.

**Заявки направляйте в редакцию по e-mail: mail@rifsm.ru,****по тел.: (499) 976-22-08, 976-20-36.****Оформляйте заказ на сайте www.rifsm.ru**

Н.Г. ЧУМАЧЕНКО¹, д-р техн. наук (psmik@samgtu.ru);
В.М. ГОРИН², канд. техн. наук (keramzit@saminfo.ru);
В.В. ТЮРНИКОВ¹, канд. техн. наук (sm-115@mail.ru),
М.Г. УПОРОВА¹, аспирант (uporova97@mail.ru)

¹ Самарский государственный технический университет (443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244)

² АО «НИИКерамзит» (443086, г. Самара, ул. Ерошевского, 3а)

Перспективы производства керамзитового гравия в Самарской области

Собраны сведения по запасам и степени вспучивания для разведанных эксплуатируемых и неэксплуатируемых месторождений глин и суглинков в Самарской области, предназначенных для выпуска керамзитового гравия. Проанализированы результаты стандартной оценки глинистого сырья, выполненные геологической службой. Керамзитовое глинистое сырье распределено по маркам и категориям. Проведена нестандартная оценка керамзитовых глин расчетным методом по химическому составу. Выявлены месторождения глинистого сырья, обеспечивающие максимальное вспучивание. Обоснована возможность производства керамзитового гравия нужного качества при направленной корректировке глин добавками. Определены виды добавок для повышения вспучиваемости и прочности. Широкий выбор корректирующих добавок имеется в Самарской области в виде промышленных отходов.

Ключевые слова: керамзитовый гравий, глины, суглинки, стандартная оценка минерального сырья, нестандартная оценка, добавки, промышленные отходы.

Для цитирования: Чумаченко Н.Г., Горин В.М., Тюрников В.В., Упорова М.Г. Перспективы производства керамзитового гравия в Самарской области // *Строительные материалы*. 2022. № 5. С. 34–39. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-34-39>

N.G. CHUMACHENKO¹, Doctor of Sciences (Engineering) (psmik@samgtu.ru); V.M. GORIN², Candidate of Sciences (Engineering) (keramzit@saminfo.ru); V.V. TYURNIKOV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (sm-115@mail.ru), M.G. UPOROVA¹, Graduate Student (uporova97@mail.ru)

¹ Samara State Technical University (244, Molodogvardeyskaya Street, Samara, 443001, Russian Federation)

² CJSC NIICeramzit (3a, Eroshovsky Street, Samara, 443086, Russian Federation)

Prospects of Expanded Clay Gravel Production in Samara Region

The information on reserves and swelling degree of examined exploited and non-exploited clay and clay loam deposits in Samara Region for the production of expanded clay gravel was collected. The results of the standard evaluation of clay raw materials, carried out by the geological service, are analyzed. The distribution of claydite clay raw materials by grades and categories is performed. A non-standard evaluation of claydite clays by the calculation method of the chemical composition was carried out. Deposits of clayey raw materials providing maximum swelling have been identified. The possibility of producing expanded clay gravel of the required quality with directional correction of clays by additives is substantiated. The types of additives to increase the swelling and strength are determined. A wide range of corrective additives is available in the Samara Region in the form of industrial waste.

Keywords: claydite gravel, clays, loams, standard evaluation of mineral raw materials, non-standard evaluation, additives, industrial waste.

For citation: Chumachenko N.G., Gorin V.M., Tyurnikov V.V., Uporova M.G. Prospects of expanded clay gravel production in Samara Region. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 5, pp. 34–39. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-34-39>

В настоящее время, когда к Российской Федерации применяются различные санкции, все отрасли промышленности вынуждены изменить приоритеты. При производстве строительных материалов необходимо в каждом регионе ориентироваться на местную природную сырьевую базу и учитывать образующиеся и накопленные техногенные ресурсы.

Самарская область [1], как и многие регионы Российской Федерации [2, 3], имеет разнообразную сырьевую базу для производства минеральных вяжущих, керамических изделий, керамзитового гравия и других крупных и мелких заполнителей.

Основной проблемой керамзитовых заводов в настоящее время является высокая насыпная плотность керамзитового гравия и отсутствие его оптимальной гранулометрии. По этим причинам изделия легкого бетона на его основе не удовлетворяют

предъявляемым требованиям по теплотехническим свойствам и расходу вяжущего.

В ближайшем будущем роль керамзитового гравия будет увеличиваться [4]. Его производство ориентировано на легкоплавкие керамзитовые глины и суглинки.

По данным геологической службы, в Самарской области разведано 49 месторождений глин и суглинков, подходящих для выпуска керамзитового гравия. Средняя мощность глинистых пластов колеблется в пределах от 1,35 до 25 м. Распределяются месторождения по территории области неравномерно. Основная группа месторождений сосредоточена около городов Самара, Сызрань, Нефтегорск, а также в Кинель-Черкасском и Сергиевском районах. Большинство месторождений доступно к разработке открытым способом. В настоящее время эксплуатируются только отдельные месторождения (рис. 1) [5–7].

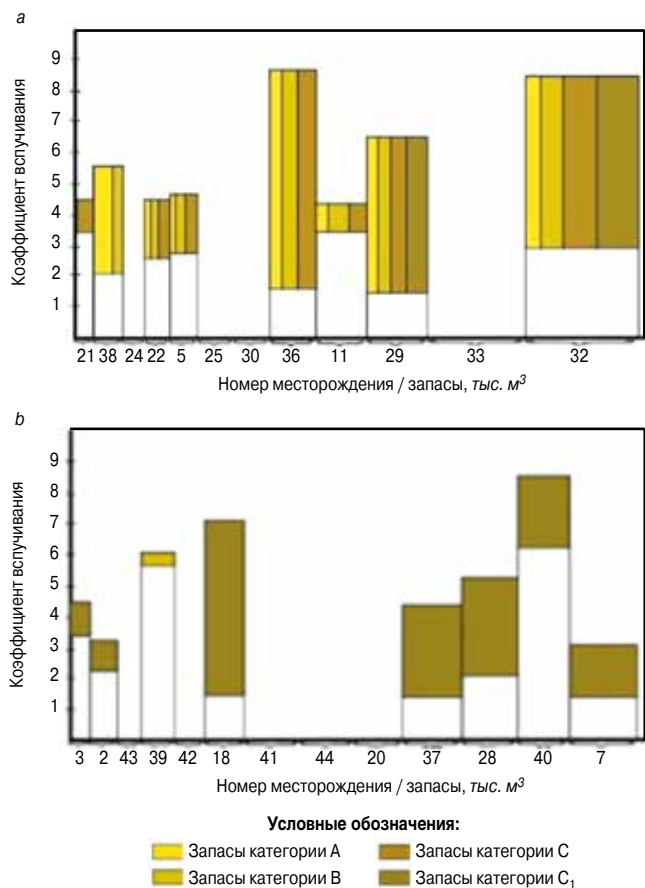


Рис. 1. Распределение керамзитового глинистого сырья Самарской области по степени вспучивания и запасам: а – эксплуатируемые месторождения; б – неэксплуатируемые месторождения
Fig. 1. Distribution of claydite clay raw materials of the Samara Region according to the degree of swelling and reserves: a – exploited deposits; b – non-exploited deposits

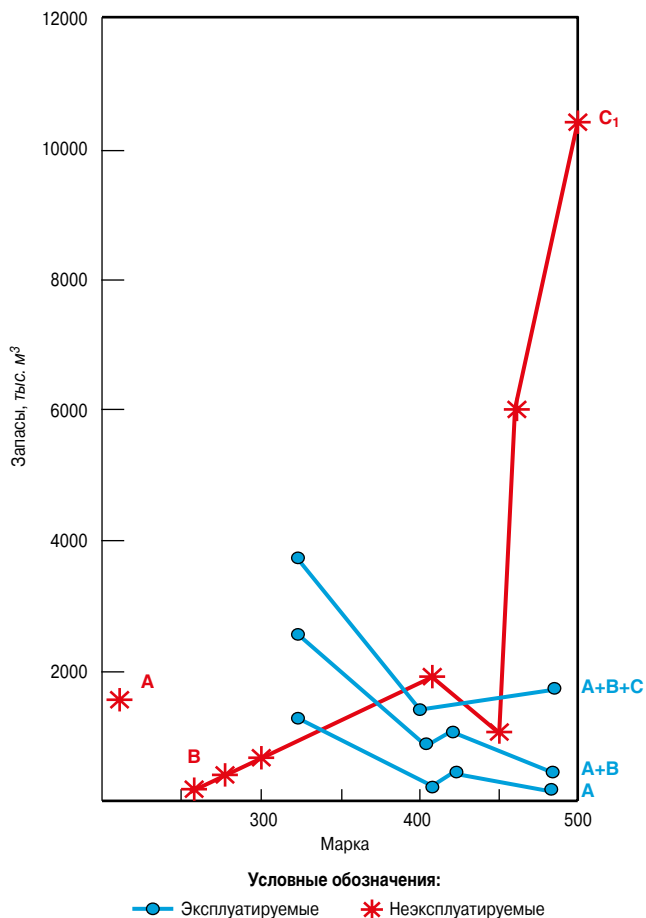


Рис. 2. Распределение керамзитового глинистого сырья Самарской области по маркам и категориям
Fig. 2. Distribution of expanded clay clay raw materials of the Samara Region by grades and categories

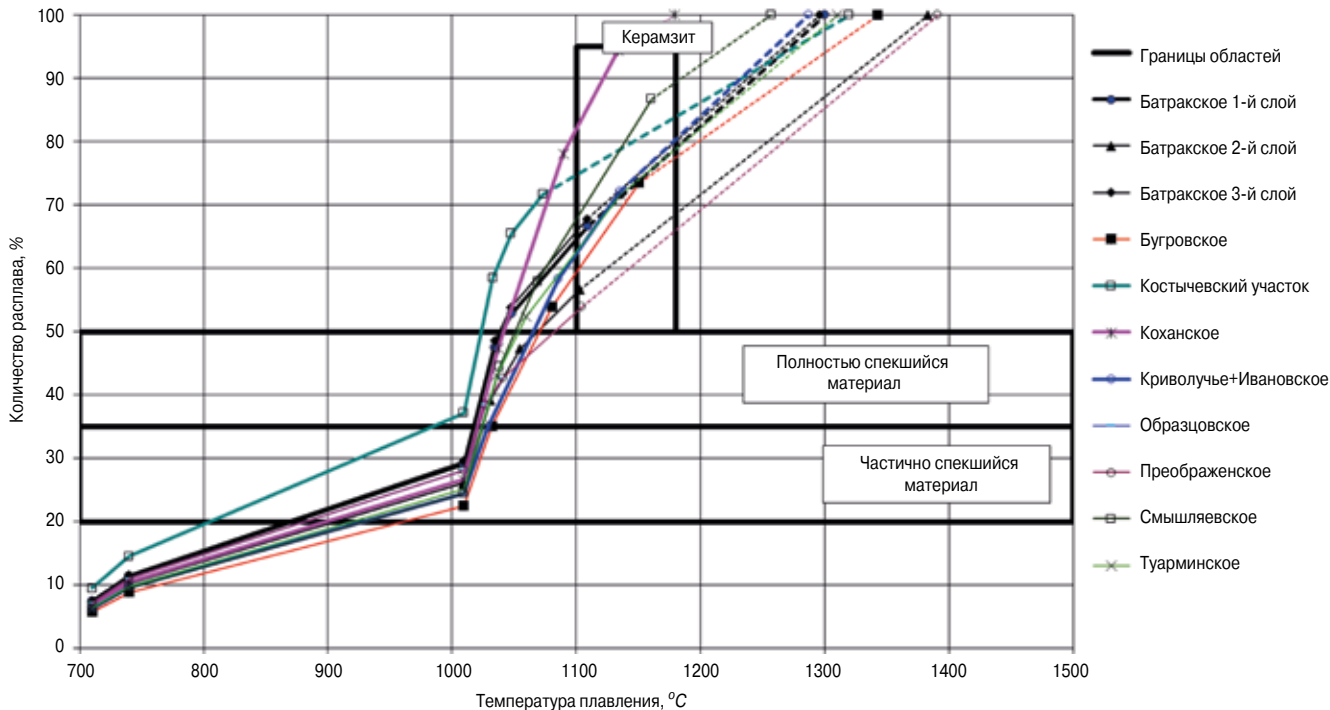


Рис. 3. Динамика образования расплава керамзитовых глин
Fig. 3. Dynamics of the formation of the melt of expanded clay clays

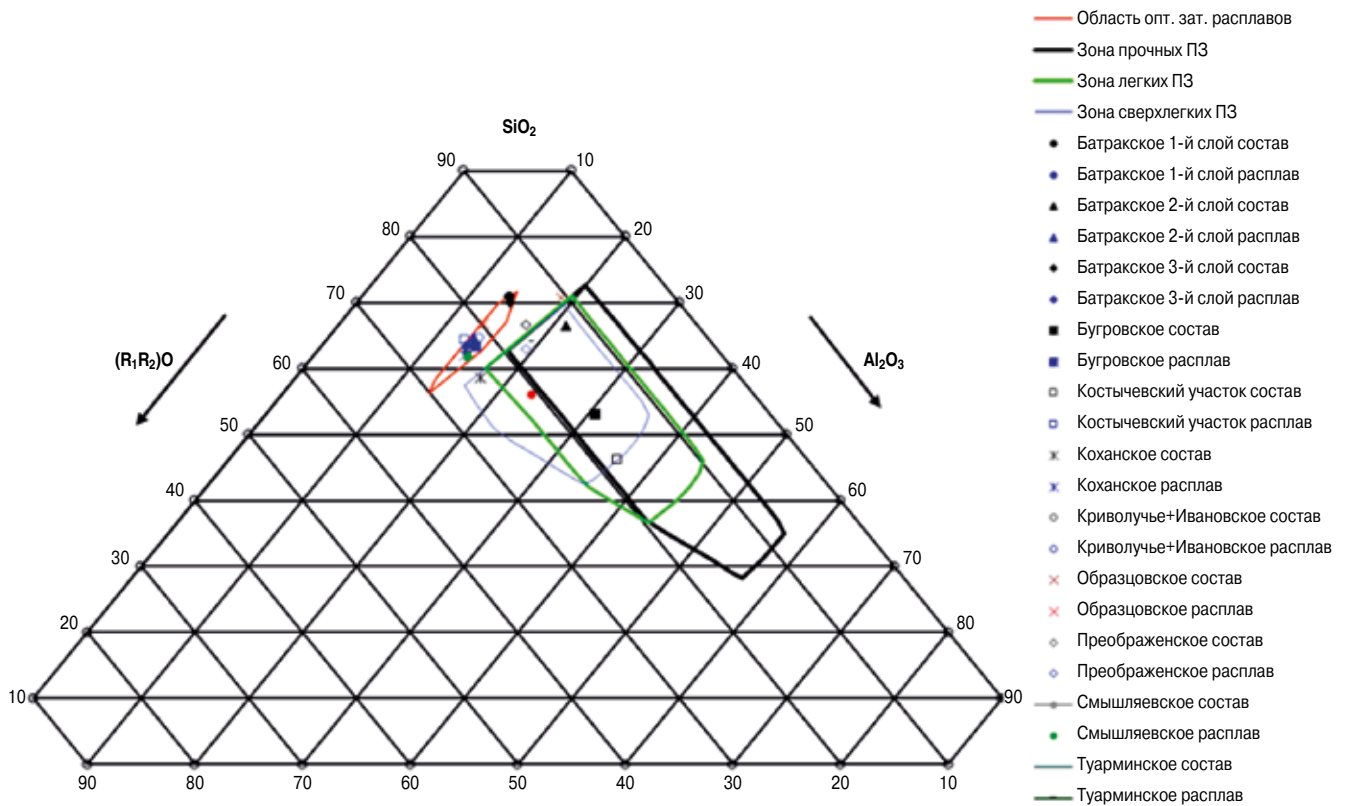


Рис. 4. Расположение керамзитовых глин на диаграмме $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-(R}_1\text{R}_2\text{)O}$
Fig. 4. The location of expanded clays on the diagram $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-(R}_1\text{R}_2\text{)O}$

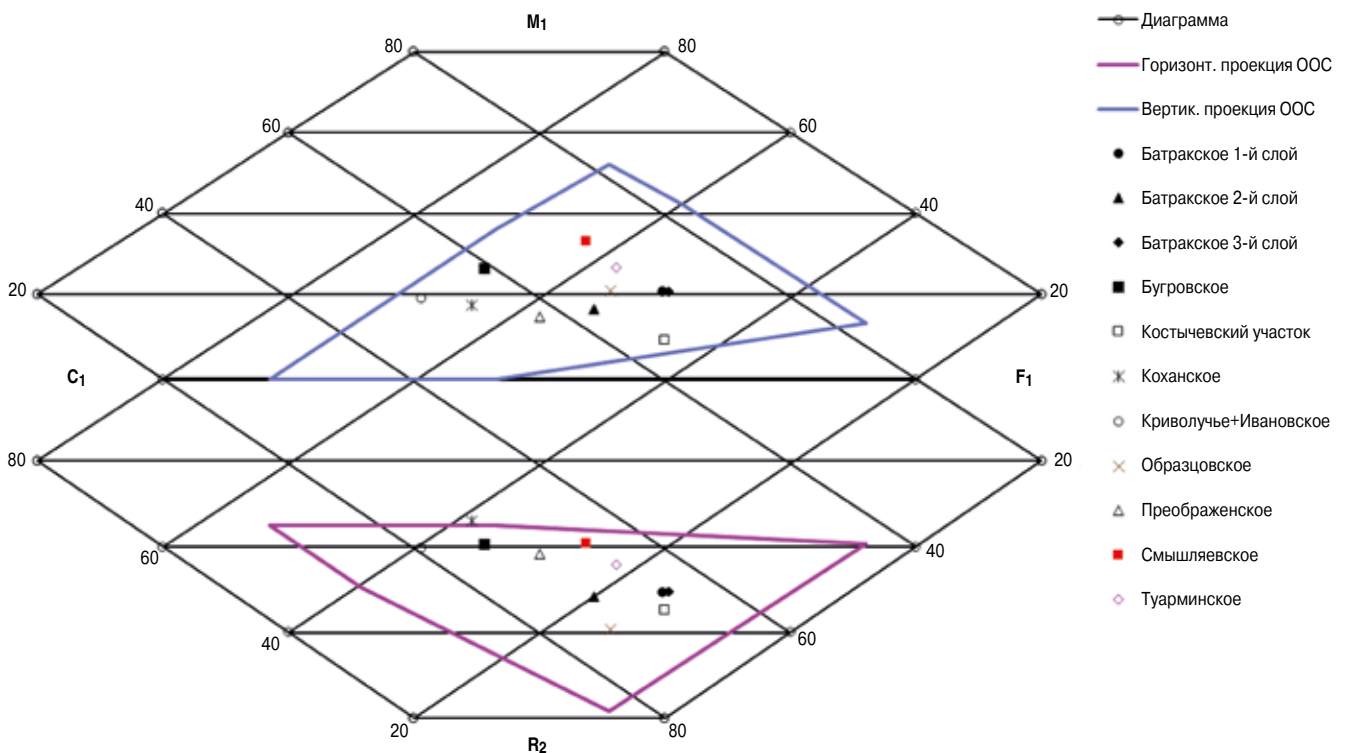


Рис. 5. Расположение керамзитовых глин на диаграмме $\text{R}_2\text{-C}_1\text{-F}_1\text{-M}_1$
Fig. 5. The location of expanded clays on the diagram $\text{R}_2\text{-C}_1\text{-F}_1\text{-M}_1$

Для сырья всех разведанных месторождений лабораторией геологической службы проводились лабораторные испытания, включающие определение свойств глинистого сырья, технологических параметров производства и свойств керамзитового гравия (рис. 2) [8].

Анализ результатов стандартной оценки разведанных месторождений керамзитового сырья позволил выявить следующее. Сырье по химическому составу в основном полукислое, содержание красящих оксидов высокое. Пластичность различная, в основном это глины высоко- и среднепластичные. Содержание крупнозернистых включений низкое. Многие глины жирные, с плотной структурой, высоко- и среднедисперсные.

Формование гранул для лабораторных испытаний сырья проводилось пластическим способом в соответствии с общепринятой методикой [8] без корректировки состава минеральными добавками. Зафиксировано улучшение вспучивания большинства глин при введении органических добавок. Использовались традиционные дефицитные добавки: соляровое масло 1–1,5%, дизельное топливо, отработанные моторные масла.

Основными критериями при стандартной оценке глинистого сырья для производства керамзитового гравия являются:

- содержание кварца (не более 30%);
- содержание тонкодисперсных фракций (не менее 15%);
- содержание отдельных оксидов ($Al_2O_3+TiO_2$ – 10–25%; Fe_2O_3+FeO – 2,5–12%; CaO – не более 6%; MgO – не более 4%; SO_3 – не более 1,5%);
- пластичность [8].

По пластичности, содержанию кварцевого песка, содержанию тонкодисперсных фракций и крупнозернистых включений сырье пригодно для производства керамзитового гравия. По химическому составу отдельные разновидности сырья не удовлетворяют предъявляемым требованиям: пять месторождений – по содержанию CaO ; три месторождения – по содержанию MgO ; одно месторождение – по содержанию SO_3 .

Прогнозируемая степень вспучивания эксплуатируемого и неэксплуатируемого сырья, а также марки керамзитового гравия, определенные по результатам лабораторных и иногда полупроизводственных испытаний, приведены на рис. 1 и 2, где показано также распределение запасов сырья по категориям. Из всех месторождений только два имеют стабильные свойства по вспучиваемости (№ 11 и 21), однако запасы их невелики.

Глины остальных месторождений нестабильны по коэффициенту вспучивания, а наибольший запас сырья гарантирует выпуск тяжелого керамзитового гравия марки 500 и выше.

По результатам лабораторных испытаний геологической службой было установлено, что сырье некоторых месторождений непригодно для производ-

ства керамзитового гравия из-за непластичности сырья, невспучиваемости или ввиду недостаточных запасов.

Для керамзитовых глин по химическому составу была проведена нестандартная оценка расчетным методом по динамике образования расплава и по расположению на диаграммах $SiO_2-Al_2O_3-(R_1R_2)O$ и $R_2-C_1-F_1-M_1$ относительно оптимальных областей [9].

Для оценки по расчетной методике необходимы полные данные по химическому составу глин, включая содержание щелочных оксидов (K_2O и Na_2O) и органики. Так как для большинства глин эти компоненты при изучении свойств не определялись, а, как показывает практика, во всех легкоплавких глинах K_2O и Na_2O содержится до 2%, прогнозирование свойств было выполнено при условии наличия 2% R_2O и 1% органики (для восстановления Fe_2O_3).

Динамика образования расплава для девяти керамзитовых глин приведена на рис. 3.

Расположение их расчетных характеристик относительно оптимальных областей показано на диаграммах $SiO_2-Al_2O_3-(R_1R_2)O$ (рис. 4) и на $R_2-C_1-F_1-M_1$ (рис. 5).

Анализ расположения фигуративных точек сырья относительно оптимальных областей на рис. 4 и 5 показывает, что глины только двух месторождений (Смышляевского и Преображенского) имеют оптимальный состав для максимального вспучивания. Для глин других месторождений необходимы корректирующие добавки для повышения вспучиваемости или повышения прочности гранул. Виды добавок и их количество зависят от химического состава глин и нужного качества керамзитового гравия. Для многих глин с целью повышения вспучиваемости необходимы добавки – плавни железосодержащие и органические, а для некоторых – кальций- и магнийсодержащие. Для повышения прочности рекомендуются глиноземсодержащие добавки. Выбрать необходимые добавки можно из числа промышленных отходов [10–15].

Выводы

1. Керамзитовый гравий является основным искусственным заполнителем. В каждом регионе должны быть организованы производства керамзитового гравия разных марок по плотности и прочности.

2. Самарская область располагает значительными запасами глинистого сырья для производства керамзитового гравия. Распределяются месторождения по территории области неравномерно. Большинство месторождений доступно к разработке открытым способом.

3. Глины только двух месторождений имеют стабильный состав и обеспечивают максимальную вспучиваемость. Большинство глин нестабильны по свойствам и по коэффициенту вспучивания. Наибольший запас сырья гарантирует выпуск тяжелого керамзитового гравия марки 500 и выше.

4. Проведена нестандартная оценка керамзитовых глин расчетным методом по химическому составу.

5. Производство керамзитового гравия нужного качества на основе разведанных месторождений керамзитовых глин может быть организовано при

направленной корректировке глин добавками, определенными расчетным нестандартным методом. Широкий выбор корректирующих добавок имеется в Самарской области в виде промышленных отходов.

Список литературы

1. Чумаченко Н.Г., Хафизов И.М., Кизилова Д.Р. Перспективы применения глинистого сырья Самарской области для производства строительной керамики // *Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии [Электронный ресурс]: Сборник статей / Под ред. М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, А.К. Стрелкова. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2019 – 1 электрон. опт. диск. ISBN 978-5-7964-2218-2. С. 9–17.*
2. Васянов Г.П., Горбачев Б.Ф., Красникова Е.В., Садыков Р.К., Кабиров Р.Р. Глинистое легкоплавкое керамическое сырье Республики Татарстан (состояние сырьевой базы и опыт применения светложгущихся полиминеральных глин) // *Георесурсы*. 2015. № 4 (63). С. 44–49.
3. Котляр В.Д., Терёхина Ю.В., Котляр А.В., Ященко Р.А., Дьяченко Н.Е. Глины Касьминского проявления в Кемеровской области – перспективное сырье для производства клинкерного кирпича // *Строительные материалы*. 2021. № 12. С. 17–22. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-798-12-17-22>
4. Кабанова М.К., Токарева С.А., Уваров П.П. Основные критерии – безопасность, экологичность и долговечность строительных материалов // *Строительные материалы*. 2017. № 1–2. С. 90–93. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-745-1-2-90-93>
5. Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые) / Утверждено распоряжением Министерства природных ресурсов РФ 05.07.99 г. № 83-Р. М., 1999.
6. Обзорная карта месторождений сырья для производства строительных материалов Самарской области. М-б 1:1000000. М.: Росгеолфонд, 1994.
7. Объяснительная записка к обзорной карте месторождений строительных материалов Куйбышевской области / Министерство геологии РСФСР. Геологический фонд. М., 1986. 187 с.
8. Лукин Е.С., Андрианов Н.Т. Технический анализ и контроль производства керамики. М.: Стройиздат, 1986. 272 с.
9. Chumachenko N.G., Tyurnikov V.V., Galiullina D.R. Study of melt amount influence on the expansion degree of expanded clay gravel // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 775, INTERNATIONAL CONFERENCE on Civil, Architectural and Environmental Sciences and Technologies (CAEST 2019)* 19 November 2019, Samara State

References

1. Chumachenko N.G., Khafizov I.M., Kizilova D.R. Prospects for the use of clay raw materials of the Samara region for the production of building ceramics. *Traditions and innovations in construction and architecture. Building technologies: collection of articles*. Samara. 2019 – 1. ISBN 978-5-7964-2218-2. pp. 9–17 (In Russian).
2. Vasyanov G.P., Gorbachev B.F., Krasnikova E.V., Sadykov R.K., Kabirov R.R. Clay low-melting ceramic raw materials of the Republic of Tatarstan (the state of the raw material base and experience in the use of light-burning polymineral clays). *Georesursy*. 2015. No. 4 (63), pp. 44–49. (In Russian).
3. Kotlyar V.D., Terekhina Yu.V., Kotlyar A.V., Jashhenko R.A., D’jachenko N.E. Clays of the Kasminsky occurrence in the Kemerovo region – a promising raw material for the production of clinker bricks. *Stroitel’nye Materialy [Construction Materials]*. 2021. No. 12, pp. 17–22. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-798-12-17-22>.
4. Kabanova M.K., Tokareva S.A., Uvarov P.P. The main criteria are safety, environmental friendliness and durability of building materials. *Stroitel’nye Materialy [Construction Materials]*. 2017. No. 1–2, pp. 90–93. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-745-1-2-90-93>(In Russian)
5. Regulations on the procedure for conducting geological exploration by stages and stages (solid minerals) / Approved by order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation on 05.07.99 No. 83-R. Moscow, 1999. (In Russian).
6. Overview map of raw material deposits for the production of building materials in the Samara region. Scale 1:1000000. Moscow: Rosgeolfond, 1994. (In Russian).
7. Explanatory note to the survey map of deposits of building materials of the Kuibyshev region / Ministry of Geology of the RSFSR, Geological Fund. M. 1986. 187 p. (In Russian).
8. Lukin E.S., Andrianov N.T. Tehnicheskij analiz i kontrol’ proizvodstva keramiki [Technical analysis and control of ceramic production]. Moscow: Stroyizdat. 1986. 272 p.
9. Chumachenko N.G., Tyurnikov V.V., Galiullina D.R. Study of melt amount influence on the expansion degree of expanded clay gravel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 775, International Conference on Civil, Architectural and Environmental Sciences and Technologies (CAEST 2019)* November 19, 2019, Samara State Technical University, Samara, Russian Federation. p. 012109. (In Russian).

- Technical University, Samara, Russian Federation. P. 012109
10. Raut S.P., Ralegaonkar R.V., Mandavgane S.A. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste – create bricks // *Construction and Building Materials*. 2011. Vol. 25. P. 4037–4042.
 11. Фоменко А.И., Каптюшина А.Г., Грызлов В.С. Расширение сырьевой базы для строительной керамики // *Строительные материалы*. 2015. № 12. С. 25–27. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2015-732-12-25-27>.
 12. Талпа Б.В. Техногенные ресурсы угольного ряда Восточного Донбасса и перспективы их использования в керамической промышленности // *Строительные материалы*. 2018. № 8. С. 58–61. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-762-8-58-61>
 13. Салахов А.М., Геращенко В.Н., Салахова Р.А., Морозов В.П., Кабилов Р.Р. Энергоэффективные керамические стеновые материалы из нетрадиционного сырья // *Строительные материалы*. 2012. № 11. С. 9–12.
 14. Зубехин А.П., Яценко Н.Д. Теоретические основы инновационных технологий строительной керамики // *Строительные материалы*. 2014. № 1–2. С. 88–92.
 15. Гурьева В.А., Дубинетский В.В., Вдовин К.М. Буровой шлам в производстве изделий строительной керамики // *Строительные материалы*. 2015. № 4. С. 75–77.
 10. Raut S.P., Ralegaonkar R.V., Mandavgane S.A. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste – create bricks. *Construction and Building Materials*. 2011. Vol. 25, pp. 4037–4042.
 11. Fomenko A.I., Kaptyushina A.G., Gryzlov V.S. Expansion of the raw material base for building ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 12, pp. 25–27. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2015-732-12-25-27>
 12. Talpa B.V. Technogenic resources of the coal row of the Eastern Donbass and the prospects for their use in the ceramic industry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 8, pp. 58–61. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-762-8-58-61>
 13. Salakhov A.M., Gerashchenko V.N., Salakhova R.A., Morozov V.P., Kabirov R.R. Energy-efficient ceramic wall materials from non-traditional raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 11, pp. 9–12. (In Russian).
 14. Zubekhin A.P., Yatsenko N.D. Theoretical foundations of innovative technologies of building ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 1–2, pp. 88–92. (In Russian).
 15. Gur'eva V.A., Dubinetskii V.V., Vdovin K.M. Drill cuttings in the production of building ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 4, pp. 75–77. (In Russian).

НОВОСТИ

Открытие нового завода промышленной химии в г. Кингисепп

27 мая 2022 в г. Кингисепп, состоялся официальный запуск нового завода по производству промышленной химии. Он будет специализироваться на химической продукции нового поколения – добавок для нефтехимии, нефтегазодобычи, металлургии, строительной индустрии, дорожного строительства и других отраслей.

Наиболее значимо для отрасли строительных материалов производство поликарбосилатов – новая продукция не имеет аналогов в России и призвана значительно уменьшить зависимость импорта сырья в таких сегментах рынка, как производство бетона, нефтедобычи, металлургии, производства сухих строительных смесей. В производстве будет использоваться только российское сырье.

Химическая продукция поликарбосилат – вещество, контролирующее текучесть раствора. На новом производстве «Полипласт Северо-Запад» используется технология замкнутого цикла, не предусматривающая образования отходов и являющаяся экологически безопасной. Это производство позволит увеличить мощность на 72 тыс. т продукции.

Мощность нового завода составляет 140 тыс т/г., однако на сегодняшний день компания выпускает 90 тыс т. В 2022 г. планируется строительство второй линии, что позволит увеличить производственные мощности. Инвестиции в проект составили 2,8 млрд руб. Вторая линия обойдется компании еще в 1 млрд руб. Планируемый срок окупаемости, по предварительным расчетам, составит 5–7 лет.

По материалам компании Полипласт

К.С. ГАЛИЦКОВ, канд. техн. наук (ksgal@yandex.ru), А.С. ФАДЕЕВ, канд. техн. наук (fas2204@mail.ru)
Самарский государственный технический университет (443110, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244)

Структурный синтез технологического комплекса глиноподготовки в условиях нестационарности влажности сырья при производстве керамзита

Рассмотрен подход структурного моделирования технологического комплекса подготовки глинистого сырья в условиях нестационарности его влажности. Выявлены основные зависимости, характеризующие каждый из этапов передела, определены входные и выходные координаты, а также возмущающие воздействия. С учетом принятых допущений и действующих технологических ограничений разработана структурная схема участка глиноподготовки как обобщенного объекта управления. В разработанной модели структурно выделено два основных параметра – величина влажности глинистого сырья, формируемая на каждом из этапов передела для оценки эффективности его подготовки, и производительность задействованного в технологической цепочке оборудования для обеспечения согласованности режимов работы. Создана вычислительная модель технологического участка глиноподготовки, использование которой позволит провести экспериментальные исследования формирования конечной влажности глинистого сырья, а результаты экспериментов будут учтены при дальнейшем синтезе системы автоматической стабилизации влажности глинистого сырья при производстве керамзита с заданными показателями качества.

Ключевые слова: керамзит, глинистое сырье, структурная модель, объект управления, влажность глины, производительность, строительная машина.

Для цитирования: Галицков К.С., Фадеев А.С. Структурный синтез технологического комплекса глиноподготовки в условиях нестационарности влажности сырья при производстве керамзита // *Строительные материалы*. 2022. № 5. С. 40–44.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-40-44>

K.S. GALITSKOV, Candidate of Sciences (Engineering) (ksgal@yandex.ru), A.S. FADEEV, Candidate of Sciences (Engineering) (fas2204@mail.ru)
Samara State Technical University (224, Molodogvardeyskaya, Samara, 443110, Russian Federation)

Structural Synthesis of the Technological Complex of Clay Preparation Under Conditions of Unsteady Humidity of Raw Materials in the Production of Expanded Clay

The article considers the approach of structural modeling of the technological complex for the preparation of clay raw materials in conditions of unsteadiness of its humidity. The main dependencies characterizing each of the stages of redistribution are revealed, input and output coordinates, as well as disturbing effects are determined. Taking into account the accepted assumptions and current technological limitations, a structural diagram of the clay preparation site as a generalized control object has been developed. In the developed model, two main parameters are structurally distinguished – the moisture content of clay raw materials formed at each stage of processing to assess the effectiveness of its preparation, and the productivity of equipment involved in the technological chain to ensure consistency of operating modes. A computational model of the technological section of clay preparation has been created, the use of which will allow experimental studies of the formation of the final moisture content of clay raw materials, and the results of the experiments will be taken into account in the further synthesis of the system of automatic stabilization of the moisture content of clay raw materials in the production of expanded clay with specified quality indicators.

Keywords: expanded clay, clay raw materials, structural model, control object, clay moisture, productivity, construction machine.

For citation: Galitskov K.S., Fadeev A.S. structural synthesis of the technological complex of clay preparation under conditions of unsteady humidity of raw materials in the production of expanded clay. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 5, pp. 40–44. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-40-44>

Керамзит широко применяется в современном строительстве как для теплоизолирующих конструкций, так и в составе конструкционно-теплоизоляционных и конструкционных бетонов, что, в свою очередь, предъявляет повышенные требования к качественным характеристикам керамзита (прочность и насыпная плотность), формируемым в процессе изготовления [1–4].

Производство керамзита пластическим способом представляет собой распределенный во времени технологический процесс [5–7], в котором структурно выделяются три основных этапа: подготовка глинистого сырья; формование, сушка; обжиг с дальнейшим охлаждением готовой продукции.

На формируемые в процессе изготовления материалы влияет множество факторов: минералогиче-

ские и реологические характеристики исходных материалов, рецептура и технология производства, режимы последующих технологических переделов (формование, сушка, обжиг и т. п.) [6, 8], а также технологические ограничения и технические характеристики применяемого оборудования: вальцы грубого и тонкого помола, шнековые прессы и дырчатые вальцы формования сырца керамзита, вращающиеся печи обжига и т. п.

Вопросы, направленные на оптимизацию управления технологическим процессом обжига в пространстве управляющих воздействий (мощность горелки, расход загружаемого сырца, скорость вращения печи) для производства керамзита с требуемыми качественными характеристиками с учетом известных ограничений на процесс вспучивания и конструкцию печи, в

достаточной степени изучены [9–14] и в рамках данной статьи рассматриваться не будут.

Известно [8], что глубина физико-химических процессов образования керамзитового гравия и оптимальный характер структуры материала в значительной мере определяются свойствами исходного сырья, а также степенью переработки и гомогенизации глинистого сырья. Как показывает практика, используемое при производстве сырье неоднородно по составу, структуре и влажности. Более того, его минералогические и химические составляющие распределены неравномерно. Нестабильность качества сырья, зависимость его свойств от места добычи и сезонности приводят к нестационарности качественных характеристик изготавливаемого полуфабриката и, как следствие, конечного продукта. При тщательной переработке и гомогенизации сырья обеспечивается снижение энергозатрат на формование и тепловую обработку, а также создаются благоприятные условия для образования однородного расплава и равномерного распределения пор в стекломассе, что особенно важно при производстве высокопрочного керамзита. Поэтому созданию обобщенной модели технологического процесса глиноподготовки, обеспечивающей учет промежуточных координат, мониторинг и оперативную коррекцию величины влажности, является актуальным.

Решение поставленной задачи

В общей задаче управления технологическим процессом глиноподготовки при производстве керамзита с заданными характеристиками можно выделить два этапа. Первый связан с исследованием рассматриваемого класса объектов автоматизации с учетом технологических ограничений, конструктивных особенностей оборудования и трудностей измерения основных параметров, в максимальной степени характеризующих протекающие процессы. Второй этап направлен на создание систем управления этими машинами [5].

Комплекс переработки глинистого сырья включает четыре согласованных технологических передела (рис. 1), где операторами В1–В4 обозначены локальные модели выполняемых операций, а именно: на первом (В1) обеспечивается загрузка доставленной глины в глинорыхлитель, где происходит первичное дробление глины. Из рыхлителя глина посту-

пает в ящичный питатель (В2), в котором происходит корректировка значения влажности глины и осуществляется регулирование производительности технологической линии, затем – в отделение грубой и тонкой переработки сырья, где вальцами грубого (В3) и тонкого (В4) помола глиняная масса поэтапно измельчается и гомогенизируется. Отличительной особенностью разработанной модели является учет промежуточной величины влажности на каждом этапе передела, а также производительности в векторе выходных координат.

Оператор В1 дробления глины в глинорыхлителе устанавливает связь между вектором воздействий, моделирующим параметры исходного материала с размером кусков $d_{вх}$, влажностью $w_{вх}$ и процентным содержанием камней подаваемого глинистого сырья $C_{каmn}$, скоростью $n_{эдД}$ вращения вала глинорыхлителя с выходными координатами, которые, в свою очередь, являются входными для второго передела (В2), а именно размер кусков d_1 , влажность w_1 и производительность P_1 глинорыхлителя (с учетом постоянства коэффициента загрузки).

На этапе передела В2 на выходе ящичного питателя формируется вектор воздействий для оператора В3 – размер кусков d_2 , производительность P_2 ящичного питателя, а также влажность w_2 , величина которой корректируется с помощью дозаторов сухих компонентов объемом $Q_{сух}$ или воды $Q_{в}$ с учетом предъявляемых технологических требований к глинистому сырью.

Основным управляющим воздействием на оператор В3 принята частота $n_{эдВГП}$ вращения вала; в качестве возмущения – промежуточные характеристики материала, сформированные на этапе В2; выходные координаты – размер кусков d_3 ; производительность P_3 валцов грубого помола и влажность w_3 .

Работа валцов тонкого помола, вращающихся со скоростью $n_{эдВТП}$, характеризуется оператором В4, в котором обеспечивается разрушение структуры глины, что позволяет на выходе сформировать следующие параметры: усредненный диаметр частиц $d_{вых}$, влажность готовой глиняной смеси $w_{вых}$ и производительность валцов тонкого помола $P_{вых}$.

С учетом представленного в [15] математического описания отдельных элементов рассматриваемого оборудования разработана структурная схема технологического комплекса переработки глинистого сырья

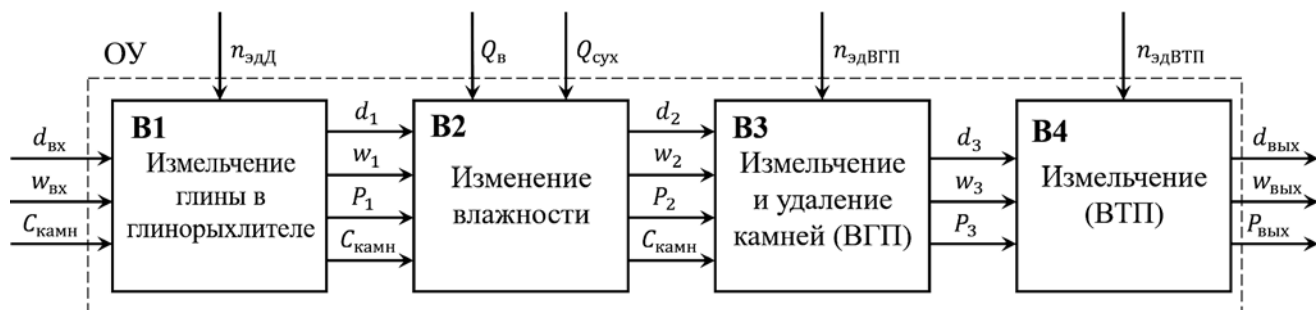
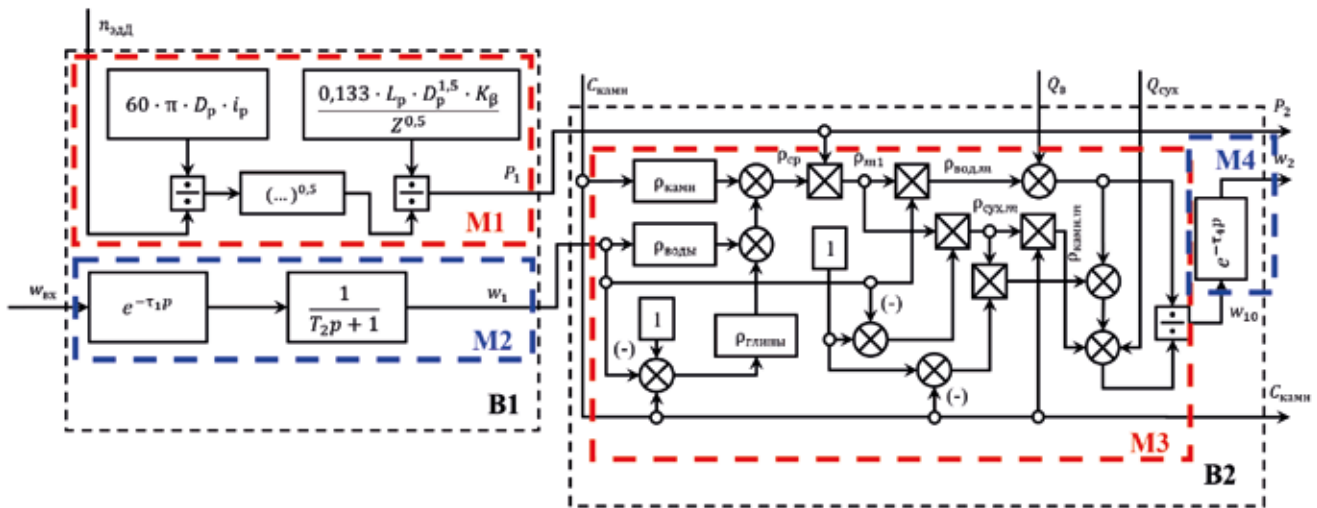


Рис. 1. Обобщенная модель объекта управления
Fig. 1. Generalized model of the control object



(Продолжение)
(Continuation)

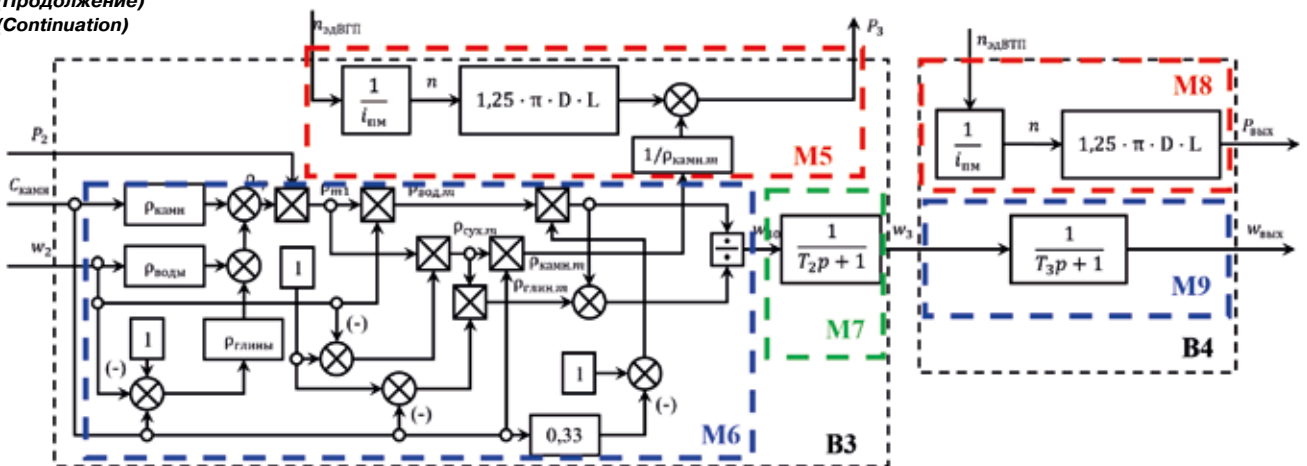


Рис. 2. Структурная схема технологического комплекса переработки глинистого сырья как объекта управления
Fig. 2. Structural diagram of the technological complex for the processing of clay raw materials as a control object

как объекта управления (рис. 2), где в качестве управляющих воздействий приняты скорости вращения $n_{эдд}$, $n_{эдвгп}$, $n_{эдвтп}$ и количество $Q_{сух}$, $Q_{в}$ подаваемых сухого материала или воды соответственно. Основные контролируемые параметры на выходе – $d_{вых}$, влажность готовой глиняной смеси $w_{вых}$ и производительность $P_{вых}$. Возмущающие факторы – изменяющиеся качественные характеристики формируемой на каждом из этапов передела глиняной массы.

При построении структуры модели (рис. 2) использован блочный подход. Здесь блоком М1 моделируется производительность глинорыхлителя, в М2 учитывается инерционность изменения влажности, характеризуемая временем τ_1 высыпания материала из горловины глинорыхлителя относительно загрузки и постоянной времени T_1 – определяемой скоростью прохождения материала через машину. В блоке М3 решается уравнение необходимости коррекции величины влажности w_1 путем введения сухого материала $Q_{сух}$ или воды $Q_{в}$. Инерционные свойства изменения влажности до момента выгрузки материала формируются в блоке М4 и характеризуются временем τ_2 нахождения материала на ленте ящичного питателя.

Уравнение производительности валков грубого помола решается в блоке М5 с учетом конструктивных особенностей машины. Блок М6 моделирует изменение влажности материала, проходящего через вальцы грубого помола. Инерционные свойства оборудования учтены в блоке М7, где T_2 – постоянная времени, определяемая на основании скорости прохождения материала через вальцы.

Блок М8 моделирует производительность вальцов, М9 учитывает скорость прохождения материала в вальцах тонкого помола через постоянную времени T_3 для формирования конечной влажности глинистого сырья $w_{вых}$.

На основании разработанной структурной схемы технологического комплекса подготовки глинистого сырья в программной среде Matlab Simulink создана вычислительная модель объекта управления (рис. 3)

Здесь в блоке D1 задаются начальные параметры глинистого сырья; D2 формирует скорости вращения используемого оборудования; с помощью D3 обеспечивается оперативная коррекция влажности с учетом предъявляемых технологических требований. В блоке D4 выводятся промежуточные и конечные значения измеряемых координат.

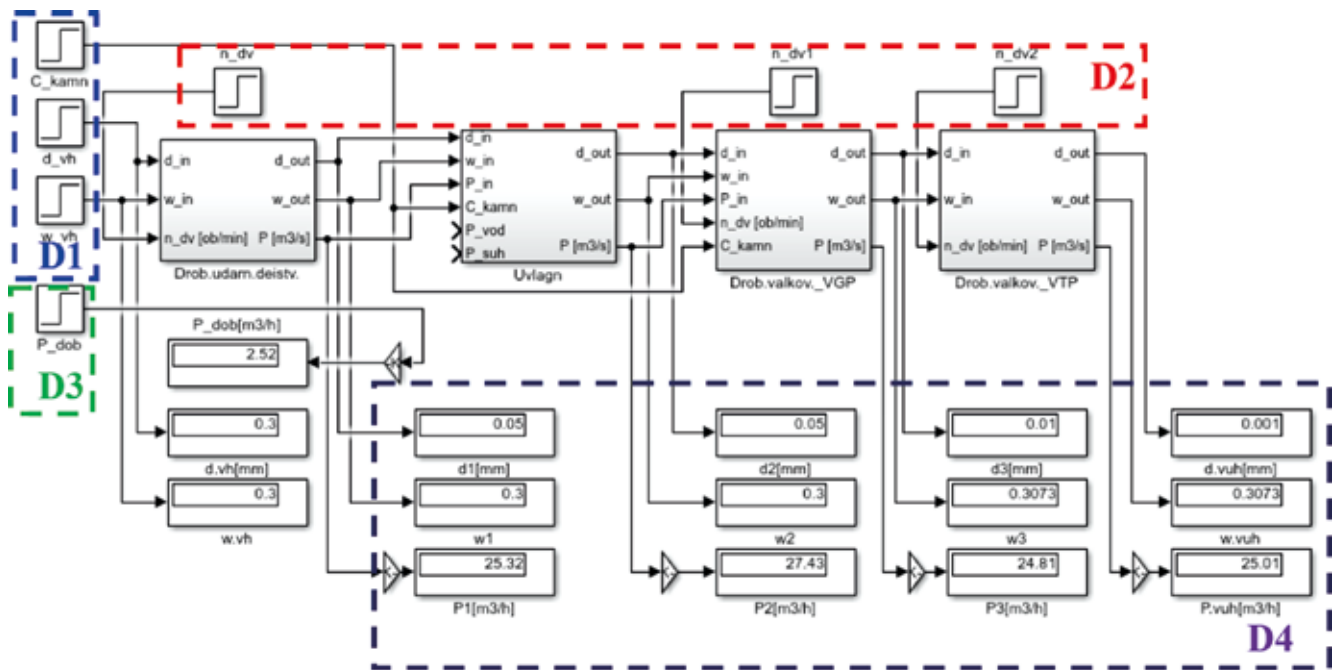


Рис. 3. Вычислительная модель технологического комплекса переработки глинистого сырья как объекта управления
 Fig. 3. Computational model of the technological complex for the processing of clay raw materials as a control object

Выводы

Разработанная структурная схема технологического комплекса процесса подготовки глинистого сырья и созданная на ее основе вычислительная модель позволят выполнить исследования и спрогнозировать работу используемого оборудования на каждом из этапов передела с учетом изменяющегося со-

става и влажности глины. Полученные результаты могут быть использованы для коррекции существующих на предприятиях по производству керамзита режимных технологических карт работы оборудования, а также при синтезе систем автоматической стабилизации влажности глинистого сырья при производстве керамзита с требуемыми показателями качества.

Список литературы

1. Горин В.М., Токарева С.А., Вытчиков Ю.С., Беляков И.Г., Шиянов Л.П. Применение стеновых камней из беспесчаного керамзитобетона в жилищном строительстве // *Строительные материалы*. 2010. № 2. С. 15–18.
2. Горин В.М., Токарева С.А., Кабанова М.К. Высокопрочный керамзит и керамдор для несущих конструкций и дорожного строительства // *Строительные материалы*. 2010. № 1. С. 9–11.
3. Горин В.М., Токарева С.А., Кабанова М.К. Стеновые керамзитобетонные конструкции – перспективный материал для индустриального домостроения // *Строительные материалы*. 2011. № 3. С. 55–58.
4. Ледякин А.С., Лияскин О.В. Перспективы применения керамзита в России. *Актуальные вопросы архитектуры и строительства: Сборник трудов 17-й Международной научно-технической конференции*. Саранск, 2018. С. 196–199.
5. Galitskov K. Intelligent management of high-technology equipment for the manufacture of concrete and ceramic materials and products. *Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education: Proceedings VI International Scientific Conference. MATEC Web of Conferences*. 2018. 03043. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201825103043>

References

1. Gorin V.M., Tokareva S.A., Vytchikov Yu.S., Belyakov I.G., Shiyarov L.P. Use of wall stones made of undisturbed expanded clay concrete in housing construction. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2010. No. 2, pp. 15–18. (In Russian).
2. Gorin V.M., Tokareva S.A., Kabanova M.K. High-strength expanded clay and ceramic powder for load-bearing structures and road construction. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2010. No. 1, pp. 9–11. (In Russian).
3. Gorin V.M., Tokareva S.A., Kabanova M.K. Wall expanded clay concrete structures – a promising material for industrial housing construction. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2011. No. 3, pp. 55–58. (In Russian).
4. Ledyakin A.S., Liaskin O.V. Prospects for application of expanded clay in Russia. *Topical issues of architecture and construction: Collection of works of the seventeenth International Scientific and Technical Conference*. Saransk. 2018, pp. 196–199. (In Russian).
5. Galitskov K. Intelligent management of high-technology equipment for the manufacture of concrete and ceramic materials and products. *Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education: Proceedings VI International Scientific Conference*.

6. Галицков К.С., Борисов В.А., Сабуров В.В. Обобщенная структура производства керамзита как объекта управления. *Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии: Сборник статей 78-й Всероссийской научно-технической конференции*. Самара, 2021. С. 1026–1033.
7. Головки А.О., Нусратуллина Д.Б., Гурьянова В.Р. Особенности технологии керамзита из местного сырья. *Современные технологии композиционных материалов: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Уфа, 2019. С. 263–266.
8. Онацкий С.П. Производство керамзита. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1987. 333 с.
9. Galitskov S., Galitskov K., Samokhvalov O. Computer modeling of the dynamics of energy consumption during expanded clay burning. *Complex Systems: Control and Modeling Problems: Proceedings 21st International Conference*. Samara. 2019, pp. 401–406. DOI: <https://doi.org/10.1109/CSCMP45713.2019.8976656>
10. Галицков С.Я., Самохвалов О.В. Условия управления вращающейся печью, осуществляющей производство керамзита с заданной прочностью. *Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: Сборник статей 71-й Всероссийской научно-технической конференции*. Самара, 2014. С. 1009–1011.
11. Galitskov K.S., Samokhvalov O.V., Fadeev A.S. Optimization of burning production process of ceramsite with specified density. *Environment, Technology, Resources: Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference*. 2017, pp. 57–61. DOI: <https://doi.org/10.17770/etr2017vol3.2569>
12. Фадеев А.С., Галицков С.Я., Данилушкин А.И. Моделирование вспучивания керамзита во вращающейся печи как объекта управления // *Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки*. 2011. № 2. С. 160–168. DOI: <https://doi.org/10.14498/tech.2011.2.%25u>
13. Самохвалов О.В. Алгоритм функционирования многомерной системы автоматического управления технологическим процессом обжига керамзита. *Механизация и автоматизация строительства: Сборник статей*. Самара, 2020. С. 343–348.
14. Фадеев А.С., Галицков К.С., Галицков С.Я. Структура системы интеллектуальной поддержки оперативного управления производством керамзита заданного качества. *Интерстроймех-2018: Сборник докладов XXI Международной научно-технической конференции*. М., 2018. С. 270–273.
15. Фадеев А.С., Минсафин Р.Р. Математическое моделирование процесса подготовки глины как объекта автоматизации производства керамзита. *Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии: Сборник статей 79-й Всероссийской научно-технической конференции*. Самара, 2022. С. 950–957.
6. Galitskov K.S., Borisov V.A., Saburov V.V. Generalized structure of the production of expanded clay as a control object. *Traditions and innovations in construction and architecture. Construction and construction technologies: Collection of articles of the 78th All-Russian Scientific and Technical Conference*. Samara. 2021, pp. 1026–1033. (In Russian).
7. Golovko A.O., Nusratullina D.B., Guryanova V.R. Features of the technology of expanded clay from local raw materials. *Modern technologies of composite materials: Materials of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation*. Ufa. 2019, pp. 263–266. (In Russian).
8. Onatsky S.P. Proizvodstvo keramzita [Production of expanded clay]. Moscow: Stroyizdat, 1987. 333 p.
9. Galitskov S., Galitskov K., Samokhvalov O. Computer modeling of the dynamics of energy consumption during expanded clay burning. *Complex Systems: Control and Modeling Problems: Proceedings 21st International Conference*. Samara. 2019, pp. 401–406. DOI: <https://doi.org/10.1109/CSCMP45713.2019.8976656>
10. Galitskov S.Ya., Samokhvalov O.V. Control conditions for a rotary kiln that produces expanded clay with a given strength. *Traditions and innovations in construction and architecture: Collection of articles of the 71st All-Russian Scientific and Technical Conference*. Samara. 2014, pp. 1009–1011. (In Russian).
11. Galitskov K.S., Samokhvalov O.V., Fadeev A.S. Optimization of burning production process of ceramsite with specified density. *Environment, Technology, Resources: Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference*. 2017, pp. 57–61. DOI: <https://doi.org/10.17770/etr2017vol3.2569>
12. Fadeev A.S., Galitskov S.Ya., Danilushkin A.I. Simulation of expanded clay swelling in a rotary furnace as a control object. *Vestnik of Samara State Technical University, Series "Technical Sciences"*. 2011. No. 2, pp. 160–168. DOI: <https://doi.org/10.14498/tech.2011.2.%25u> (In Russian).
13. Samokhvalov O.V. Algorithm of operation of multivariate automatic control system for calcination of expanded clay. *Mechanization and automation of construction: Collection of articles*. Samara. 2020, pp. 343–348. (In Russian).
14. Fadeev A.S., Galitskov K.S., Galitskov S.Ya. Structure of intelligent support system for operational control of expanded clay production of specified quality. *Interstroyemeh-2018: Collection of articles of the XXI International Scientific and Technical Conference*. Moscow. 2018, pp. 270–273. (In Russian).
15. Fadeev A.S., Minsafin R.R. Mathematical modeling of the clay preparation process as an object of automation of the production of expanded clay. *Traditions and innovations in construction and architecture. Construction and construction technologies: Collection of articles of the 79th All-Russian Scientific and Technical Conference*. Samara. 2022, pp. 950–957. (In Russian).

А.А. МАТКИН¹, инженер
М.Я. БИКБАУ², д-р хим. наук (bickbau@mail.ru)

¹ ООО «ИМЭТСТРОЙ» (141606, Московская область, г. Клин, ул. Захватаева, 4)

² ООО «Международный институт материаловедения и эффективных технологий» (121069, г. Москва, Мерзляковский пер., 15-5)

Дренирующий бетон КАПСИМЭТ и новое оборудование для строительства дорог и инженерных сооружений

В последние годы в России увеличивается строительство автомобильных дорог из цементобетона. Описана технология капсулирования заполнителя при производстве крупнопористого бетона для дренирования дорожного полотна и отмотки, приведена техническая характеристика дренирующего цементобетона КАПСИМЭТ. Представлена первая практика укладки экспериментального участка дороги протяженностью около 200 м и шириной 6 м в поселке Цильна Ульяновской области.

Ключевые слова: капсулированный крупнопористый цементобетон КАПСИМЭТ, дорожное строительство, дренирующий бетон, капсулятор, планетарный смеситель, экспериментальная дорога.

Для цитирования: Маткин А.А., Бикбау М.Я. Дренирующий бетон КАПСИМЭТ и новое оборудование для строительства дорог и инженерных сооружений // *Строительные материалы*. 2022. № 5. С. 45–51. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-45-51>

A.A. MATKIN¹, Engineer,

M.YA. BIKBAU², Doctor of Sciences (Chemistry) (bickbau@mail.ru)

¹ LLC "IMETSTROY" (4, Zahvataeva Street, Moscow Region, Klin, 141606, Russian Federation)

² International Institute of Materials Science and Efficient Technologies (15-5, Merzljakovskij lane, 121069, Moscow, Russian Federation)

Drainage Concrete CAPSIMET and New Equipment for the Construction of Roads and Engineering Structures

In recent years, the construction of roads from cement concrete has been increasing in Russia. The technology of aggregate encapsulation for the production of coarse-pored concrete for drainage of the roadbed and pavement is described, the technical characteristics of the drainage cement-concrete CAPSIMET are given. The first practice of laying an experimental section of the road with a length of about 200 m and a width of 6 m in the village of Tsilna, Ulyanovsk Region, is presented.

Keywords: encapsulated coarse-pored cement concrete CAPSIMET, road construction, drainage concrete, capsulator, planetary mixer, experimental road.

For citation: Matkin A.A., Bickbau M.Ya. Drainage concrete CAPSIMET and new equipment for the construction of roads and engineering structures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 5, pp. 45–51. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-45-51>

Крупнопористый дренирующий цементобетон относится к легким бетонам с крупным заполнителем плотностью 1600–2000 кг/м³ и коэффициентом фильтрации воды в пределах от 0,25 до 2 см/с. Крупнопористый дренирующий цементобетон может быть использован при строительстве дренажных систем для отвода талых и дождевых вод, скапливающихся на поверхности и отмотке автомобильной дороги, при противооползневых мероприятиях, для укрепления откосов морских берегов и берегов водоемов, строительства фильтрующих воду подпорных стенок различных дорожных и гидротехнических, в том числе земляных, сооружений в виде дамб и плотин.

Крупнопористый дренирующий цементобетон КАПСИМЭТ* – разновидность легкого бетона, где крупный заполнитель (гравий или щебень) скреплен небольшим количеством цементного или цементно-песчаного раствора, который, обволакивая тонким слоем зерна крупного заполнителя, не заполняет межзерновую пустотность. Структура дренирующего крупнопористого цементобетона КАПСИМЭТ характери-

зуется зернистым строением и открытой непрерывной (сквозной) пористостью с высокой фильтрующей способностью.

В зависимости от назначения дренирующий, крупнопористый цементобетон (бетон) подразделяется на: теплоизоляционный; конструктивно-теплоизоляционный; фильтрационный (дренирующий); звукопоглощающий.

Основными требованиями к свойствам бетона в зависимости от его назначения являются: для теплоизоляционного – ограничение теплопроводности и плотности; для конструктивно-теплоизоляционного – то же и обеспечение необходимой прочности; для фильтрационного (дренирующего) – обеспечение необходимых прочностных, фильтрационно-суффозионных свойств и долговечности; для звукопоглощающего – обеспечение необходимых акустических характеристик.

Класс фильтрационного (дренирующего) бетона определяется по прочности при сжатии в возрасте 28 сут твердения в нормальных условиях, а также по морозостойкости. Крупнопористый дренирующий бетон

* Название КАПСИМЭТ дано в 1990 г. технологии производства, а также группе материалов и изделий, которые выпускаются по данной технологии. В нем сочетаются название основного технологического приема – капсуляции с названием научно-исследовательского института Московский ИМЭТ, который в те годы возглавлял изобретатель технологии и оборудования Марсель Янович Бикбау.

КАПСИМЭТ отличается высокой суффозионной механической и химической устойчивостью — сохранением частицами материала своего первоначального положения при воздействии на них фильтрационного потока с исключением отрыва и перемещения отдельных его частиц и целых агрегатов внутри пор или трещин.

Основным показателем фильтрационного (дренирующего) бетона КАПСИМЭТ является высокая **водопроницаемость**. Он пропускает через массив воду с высокой скоростью, что обеспечивает эффективный дренаж различных конструкций. Фильтрующая способность дренирующих бетонов варьируется в пределах от 0,25 до 2 см/с и для обозначения подклассов разделяется на 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0.

Класс бетонов устанавливаются в соответствии с нормами проектирования и указывают в проектной и технологической документации. Свойства бетона должны отвечать требованиям рабочей документации, государственных стандартов или технических условий на изготовление изделий и конструкций. Требуемые свойства обеспечиваются выбором соответствующих материалов и оптимизацией технологии по критерию наибольшей технико-экономической эффективности.

Крупнопористый дренирующий цементобетон КАПСИМЭТ для гидротехнического, дорожного строительства применяется в неармированных элементах конструкций. Армирование допускается только конструктивное при условии соблюдения требований защиты армирующих элементов, стальных сеток от коррозии.

Государственной компанией «Российские автомобильные дороги» согласован стандарт организации СТО 66331738-002-2016 «Крупнопористый цементобетон КАПСИМЭТ с дренирующим эффектом для дорожного строительства», разработанный ЗАО «Институт материаловедения и эффективных технологий».

При разработке данного стандарта организации применен патент РФ № 2248953 на изобретение «Способ изготовления крупнопористого бетона на плотных заполнителях», 2003 г. Патентообладатель ЗАО «ИМЭТСТРОЙ».

Стандарт организации СТО 66331738-002-2016 разработан в связи с использованием научно-технического решения, позволяющего применить цементобетон для изготовления бетонного основания дорожной одежды в виде крупнопористого дренирующего цементобетона на плотных заполнителях.

Настоящий стандарт организации (СТО) распространяется на цементобетон крупнопористый дренирующий на плотных заполнителях, капсулированных цементным или цементно-песчаным молочком для строительства бетонного основания и покрытия дорожных одежд при строительстве автомобильных дорог, а также звукопоглощающих ограждений.

Характеристики крупнопористого дренирующего бетона КАПСИМЭТ

Основной характеристикой крупнопористого дренирующего бетона КАПСИМЭТ является способность к пропусканию воды с высокой скоростью в отличие, на-

пример, от дисперсных кварцевых песков. Коэффициент фильтрации воды определяется по ГОСТ 25584-90. Для песков коэффициент фильтрации варьируется от 0,001 до 0,01 см/с.

Коэффициент фильтрации крупнопористого дренирующего бетона КАПСИМЭТ, определенный по методике ГОСТ 25584-90, варьируется в пределах от 0,25 до 2 см/с. Заданные характеристики качества бетона для подтверждения соответствия бетона базовым требованиям безопасности сооружений, предусмотренным ФЗ № 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 г., приведены в табл. 1.

Бетонная смесь для приготовления дренирующего, крупнопористого бетона КАПСИМЭТ должна соответствовать требованиям ГОСТ 7473-2010. Состав бетона подбирается в заводской или строительной лаборатории исходя из проектных требований к свойствам бетона при минимальном расходе цемента. Состав бетона необходимо систематически корректировать в соответствии с результатами испытаний контрольных образцов.

В качестве заполнителей для дренирующего крупнопористого бетона КАПСИМЭТ используют природные гравий или щебень.

Гравий из плотных горных пород, применяемый в качестве заполнителя для крупнопористого бетона, должен удовлетворять требованиям ГОСТ 8269.0-97 и ГОСТ 26633-2012. Щебень из плотных горных пород, применяемый в качестве заполнителя для крупнопористого бетона, должен удовлетворять требованиям ГОСТ 8269.0-97 и ГОСТ 26633-2012.

Выбор заполнителя (гравия или щебня) следует производить исходя из местных условий и экономической целесообразности. При этом необходимо учитывать следующее: крупнопористый бетон на гравии может быть получен при меньшем расходе цемента, чем крупнопористый бетон такой же прочности на щебне; бетон на щебне обладает меньшей средней плотностью и более высоким коэффициентом фильтрации, чем равнопрочный крупнопористый бетон на гравии.

Крупный заполнитель следует применять, как правило, однофракционный: 5-10; 10-20 или 20-40 мм. Допускается также применять заполнители смешанных фракций или иного зернового состава, например 2,5-10; 5-20 мм. Наибольшая крупность зерен заполнителя не должна превышать 1/4 наименьшего размера сечения бетонируемой конструкции. При выборе зернового состава заполнителя следует исходить из того, что в крупнопористом дренирующем бетоне КАПСИМЭТ влияние заполнителя на свойства готового материала больше, чем в обычном легком бетоне: в частности, чем крупнее заполнитель, тем крупнее поры бетона. Для дренирующего бетона крупность пор следует назначать в зависимости от фильтрационно-суффозионных требований.

Расход крупного заполнителя в крупнопористом дренирующем бетоне КАПСИМЭТ не зависит от расхода цемента и соответствует насыпной плотности заполнителя в уплотненном состоянии (для различных видов заполнителей это составляет 1,05-1,15 насыпной массы).



Рис. 1. Фильтрация воды через слой дорожной одежды из дренирующего бетона КАПСИМЭТ

Fig. 1. Filtration of water through a layer of road pavement made of drainage concrete CAPSIMET



Рис. 2. Капсулятор-смеситель с рабочими камерами ГРК производительностью 5 м³/ч для капсуляции крупных заполнителей

Fig. 2. Capsulator-mixer with working chambers GRK with a capacity of 5 m³ per hour for encapsulation of large aggregates

Прочность крупнопористого бетона пропорциональна площади контактов, образующихся при уплотнении бетонной смеси за счет вытеснения цементного теста, обволакивающего зерна заполнителя при их сближении, поэтому она пропорциональна толщине обволакивающей заполнитель пленки цементного теста.

Используемые в качестве заполнителей для крупнопористого бетона другие природные или искусственные материалы, а также отходы промышленности должны удовлетворять требованиям соответствующих стандар-

тов или технических условий. Заполнители можно применять как в сухом, так и во влажном (после промывки или обогащения в водной среде) состоянии. Назначение и регулирование крупности пор в дренирующем бетоне производится по результатам подбора состава бетонной смеси в лабораториях.

Для получения крупнопористого дренирующего бетона КАПСИМЭТ с требуемым коэффициентом фильтрации и прочностью при минимальном расходе цемента необходимо пользоваться разработанным СТО.



Рис. 3. Рабочая камера ВРК капсулятора-смесителя для установки по производству капсулированного крупного заполнителя производительностью 10 м³/ч

Fig. 3. The working chamber of the VRK of the capsulator-mixer for the plant for the production of encapsulated coarse aggregate with a capacity of 10 m³/hour

Таблица 1
Table 1

Техническая характеристика дренирующего бетона
Technical characteristics of draining concrete

Наименование показателя	Единица измерения	Значение
Прочность при сжатии	МПа	5–25
Прочность при изгибе	МПа	2–4
Коэффициент фильтрации	см/с	0,25–2
Морозостойкость	циклы	100–400
Средняя плотность	кг/м ³	1500–2000

Таблица 2
Table 2

Расход цемента различных классов и характеристики крупнопористых дренирующих бетонов КАПСИМЭТ на гранитном щебне М-1000 фракции 10–20 по результатам испытаний в ГУП «НИИ МОССТРОЙ»
Consumption of cement of various classes and characteristics of large-pore drainage concretes CAPSIMET on granite crushed stone M-1000 of fraction 10–20 according to the results of tests in the State Unitary Enterprise «NII MOSSTROY»

Класс бетона	Средняя плотность, кг/м ³	Средняя прочность при изгибе, МПа	Расход цемента различных классов, кг/м ³			Коэффициент фильтрации, см/с
			32,5	42,5	52,5	
В5	1800	2,3	120	110	100	2
В10	1850	2,7	125	115	105	1,8
В12,5	1900	3,1	130	120	110	1,6
В15	1950	3,3	135	125	120	1,4
В20	2000	3,6	140	135	125	1

Примечание. Образцы после 28 сут твердения в нормальных условиях испытаны на сжатие в кубах 150×150×150 мм, а на изгиб в виде балок 100×100×400 мм по ГОСТ 10180–2012.

Радиационно-гигиеническая оценка содержания естественных радионуклидов для всех видов плотных заполнителей обязательна и определяется по ГОСТ 30108–94. Удельная эффективная активность естественных радионуклидов $A_{эфф}$ в плотных заполнителях, применяемых для приготовления бетонной смеси, не должна превышать 740 Бк/кг.

В качестве вяжущего для приготовления крупнопористого бетона используют портландцемент, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 33174–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Цемент. Технические требования» или ПНСТ 19–2014 «Портландцемент наномодифицированный. Технические условия» в соответствии с требованиями национального предстандарта РФ 19–2014. Указанные вяжущие могут содержать измельченный кварцевый песок в соотношении с цементом от 1:0,5 до 1:2.

Оптимальный расход цемента в дренирующем бетоне КАПСИМЭТ приведен в табл. 2.

Толщина пленки цементного или цементно-песчаного раствора, обволакивающего зерна заполнителя в крупнопористом бетоне КАПСИМЭТ, определяется вязкостью цементного раствора, которая определяется водоцементным отношением и водопотребностью используемого цемента. Ее можно регулировать посредством введения пластифицирующих добавок, что позволяет при том же расходе цемента повысить прочность бетона в среднем на 15%. При применении наноцементов пластифицирующие добавки можно исключить.

Цементный или цементно-песчаный раствор удерживается на поверхности зерен заполнителя в виде стабильной пленки, что является условием сохранения однородности и нерасслаиваемости бетонной смеси в процессе ее транспортирования, укладки и уплотнения.

Расход цементного или цементно-песчаного раствора по объему на 1 м^3 крупнопористого бетона КАПСИМЭТ определяется как произведение толщины обволакивающей пленки на суммарную поверхность зерен заполнителя. Чем крупнее заполнитель и меньше его удельная поверхность, тем меньше расход цемента. Однако прочность дренирующего бетона при этом соответственно уменьшается в связи с уменьшением числа контактов между зернами заполнителя, приходящихся на единицу площади сечения бетона.

Прочность крупнопористого бетона на основе одних и тех же материалов пропорциональна величине расхода цемента.

Для крупнопористого дренирующего бетона КАПСИМЭТ на плотных заполнителях бетонную смесь необходимо приготавливать в центробежном смесителе-капсуляторе.

При поточном производстве крупнопористого дренирующего бетона КАПСИМЭТ рекомендуется его приготовление в разработанном смесителе-капсуляторе непрерывного действия.

Материалы в смеситель-капсулятор непрерывного действия рекомендуется подавать в двух потоках:

– крупный заполнитель необходимой фракции;

– цементный или цементно-песчаный раствор с В/Ц 0,3–0,4 на основе цементно-песчаных смесей, исходя из расхода такой смеси 120–140 кг на 1 м^3 крупного заполнителя при соотношении цемента и песка от 1:0,5 до 1:2.

Дозировка цемента и воды выполняется с точностью $\pm 2\%$; гравия или щебня плотных пород, песка – по массе с точностью $\pm 2\%$ или по объему с точностью $\pm 3\%$.

Цементный или цементно-песчаный раствор при приготовлении бетонной смеси должен равномерно распределяться по всей поверхности заполнителя, образуя прочную оболочку – капсулу. Заплывания межзерновых пустот заполнителя раствором не допускается. Расходы цемента, заполнителей и воды следует уточнять пробными замесами с изготовлением из них контрольных образцов (кубов). При этом подобранный состав должен обеспечить нерасслаиваемость бетонной смеси.

В случае отсутствия у строительной организации капсуляторов-смесителей допускается в порядке исключения применение стандартных бетоносмесителей. В этом случае бетонные смеси КАПСИМЭТ производятся с более высоким на 10–15% расходом цемента и крупнопористые дренирующие бетоны КАПСИМЭТ получают с более низкой фильтрационной способностью.

Подбор состава крупнопористого дренирующего бетона КАПСИМЭТ рекомендуется вести на основе опытных замесов в лаборатории в следующей последовательности:

а) приготовить и хорошо перемешать в лабораторной растворомешалке цементный или цементно-песчаный раствор с В/Ц в пределах 0,3–0,4;

б) смешать цементный или цементно-песчаный раствор с заполнителем в лабораторном смесителе в соотношении к одному объему щебня от 0,15 до 0,25 объема приготовленного раствора. Оптимальное количество раствора определяется визуально по отсутствию интенсивного стекания избыточного количества раствора при помещении приготовленной порции бетонной смеси на наклонной поверхности лабораторного противня с обязательной оценкой полноты покрытия каждой частички крупного заполнителя раствором;

в) подвижность бетонных смесей для крупнопористого дренирующего бетона КАПСИМЭТ определяется по осадке конуса по ГОСТ 10181–2014. Оптимальные значения подвижности бетонных смесей для крупнопористого бетона КАПСИМЭТ варьируются в пределах осадки конуса от 10 до 20 см;

г) приготовленную бетонную смесь поместить в стандартные формы образцов-кубов $150 \times 150 \times 150 \text{ мм}$ и образцов-призм $150 \times 150 \times 600 \text{ мм}$ с уплотнением бетона в формах штыкованием и выдерживанием образцов в условиях нормального твердения с испытанием в сроки, предусмотренные ГОСТ 10180–2012.

Правильно подобранная по составу и тщательно приготовленная бетонная смесь для КАПСИМЭТ характеризуется равномерным обволакиванием зерен заполнителя цементным или цементно-песчаным раствором, отсутствием стекания раствора с зерен заполните-

ля в уложенной бетонной смеси, нерасслаиваемостью при ее укладке.

Небольшое повышение расхода цемента незначительно снижает водопроницаемость дренирующего бетона КАПСИМЭТ. Регулированием зернового состава заполнителя подбирается коэффициент фильтрации в пределах 0,5–2 см/с.

Крупнопористые дренирующие цементобетоны КАПСИМЭТ практически не имеют усадки, поскольку содержание цементного камня в виде тонких (толщиной в доли мм) сплошных оболочек-капсул на поверхностях омоноличенных в единый массив зерен крупного заполнителя минимально.

Укладка крупнопористого дренирующего бетона КАПСИМЭТ. Транспортирование материала

Бетонная смесь для крупнопористого дренирующего бетона весьма подвижна и легко уплотняется в единый массив дорожного основания строительной техникой.

Транспортирование и укладка бетонной смеси для приготовления КАПСИМЭТ должны производиться способами, не допускающими ее расслоения, отека и перераспределения в ней цементного раствора в самосвалах или автобетоносмесителях. Укладку крупнопористого бетона КАПСИМЭТ необходимо производить бетоноукладчиком с выравниванием поверхности.

К укладке приготовленной бетонной смеси (особенно в условиях повышенной температуры воздуха и при ветре) следует приступать не позднее чем через 30 мин после ее приготовления. Обезвоживание цементного теста ведет к снижению его пластичности, ухудшению условий формирования контактов между зернами заполнителя при укладке бетонной смеси и к снижению прочности бетона.

Указанный период сохранения свойств бетонной смеси для приготовления КАПСИМЭТ может быть увеличен до 2–3 ч при условии помещения смеси в закрытый объем, в котором будет обеспечено отсутствие испарения и потери материалом влаги с поверхности зерен крупного заполнителя. В этом случае перед укладкой бетона обязательно его интенсивное перемешивание в течение 2–3 мин.

В уплотнении бетонной смеси КАПСИМЭТ виброобработкой нет необходимости. Твердение бетона осуществляют в естественных условиях. Как при транспортировке, так и твердении бетона необходимо предусматривать меры по предотвращению его преждевременного высыхания: свежеложенный бетон следует укрывать влагосодержащим материалом или полимерной пленкой.

Распалубка вертикальных поверхностей монолитных конструкций из крупнопористого дренирующего бетона, твердеющих в естественных условиях при температуре 15–20°C или выше, допускается не ранее чем через 1 сут после укладки. При более низкой температуре воздуха время распалубки уточняется опытным путем по достижении образцов КАПСИМЭТ прочности при сжатии не менее 5 МПа. Распалубка горизонтальных поверхностей и нагружение конструкций из круп-

нопористого бетона допускается в сроки, обеспечивающие соответствующую контролируемую прочность.

Рост прочности крупнопористого дренирующего бетона КАПСИМЭТ на плотных заполнителях зависит от интенсивности твердения входящего в его состав цементного камня. Поэтому все факторы, ускоряющие твердение цементного камня (наноцемент, добавки, термообработка), в равной мере способствуют ускорению процесса твердения бетона.

При зимнем бетонировании, при среднесуточной температуре наружного воздуха ниже 5°C и минимальной суточной температуре ниже 0°C необходимо принимать специальные меры по теплоизоляции и выдерживанию уложенного бетона в конструкциях и сооружениях.

Приготовление бетонной смеси КАПСИМЭТ на строительной площадке следует производить в обогреваемых бетоносмесительных установках, применяя противоморозные добавки, подогретую воду, оттаянные или подогретые заполнители, обеспечивающие получение бетонной смеси с температурой не ниже требуемой по расчету. Допускается применение неотогретых сухих заполнителей, не содержащих наледи на зернах и смерзшихся комьев. При этом продолжительность перемешивания бетонной смеси рекомендуется увеличить не менее чем на 25% по сравнению с летними условиями. Температурно-влажностное выдерживание бетона в зимних условиях производят способом термоса и с противоморозными добавками в смеси. Укладываемая в конструкцию бетонная смесь не должна содержать частиц льда, снега и смерзшихся комьев материала.

Бетонную смесь с противоморозными добавками укладывают в конструкции и уплотняют, соблюдая общие правила укладки. Поверхность бетона, не защищенную опалубкой, укрывают во избежание вымораживания влаги. Бетон выдерживают под укрытием до получения не менее 30% марочной прочности.

Бетонные смеси КАПСИМЭТ доставляют потребителю транспортом специализированных видов, предназначенных для перевозки бетонных смесей.

Допускается транспортировать бетонные смеси КАПСИМЭТ автосамосвалами, с укрытием бетона от испарения влаги. Максимальная продолжительность транспортирования бетонной смеси не должна быть более времени сохранения ее свойств. Применяемые способы транспортирования бетонных смесей должны исключать возможность попадания в них атмосферных осадков, нарушения однородности, потери цементного раствора.

Заданные технологические показатели качества бетонной смеси КАПСИМЭТ определяют у производителя через 15 мин после выгрузки бетонной смеси из капсулятора-смесителя, а у потребителя при входном контроле качества – не позднее чем через 10 мин после доставки бетонной смеси на строительную площадку.

Крупнопористый дренирующий бетон КАПСИМЭТ на плотных заполнителях рекомендуется применять для: – устройства монолитных нижних и верхних слоев покрытий и оснований дорожных одежд автомобильных дорог и аэродромных покрытий, горизонтальных и вертикальных дренирующих слоев подземных сооружений;

– устройства оголовков, откосных крыльев (стенок), подпорных стен: крепления откосов, дренажа плотин;
– волногасящих и звукопоглощающих материалов и конструкций, обеспечивающих эффективное звукопоглощение в широком спектре частот.

– производства сборных фильтрующих элементов в виде плит, призм и труб, используемых в мостовом и дорожном строительстве.

Требования, изложенные в техническом регламенте Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» (ТР ТС 014/2011), обязательны при использовании крупнопористых дренажных бетонов КАПСИМЭТ на всех категориях автомобильных дорог любой принадлежности.

Оборудование для капсуляции крупного заполнителя

ЗАО «ИМЭТ» разработало два типа оборудования для капсуляции крупных заполнителей цементным или цементно-песчаным раствором: капсуляторы-смесители непрерывного действия и капсуляторы-смесители циклического действия.

В основе работы оборудования лежит принцип интенсивного центробежного ускорения перемещения зерен крупных заполнителей при движении по внутренней поверхности рабочих камер капсуляторов-смесителей с одновременной капсуляцией (плакированием) поверхности зерен заполнителей цементным или цементно-песчаным раствором.

Капсуляторы-смесители непрерывного действия предназначены для работы на мобильных установках при строительстве дорог и подразделяются на два вида: с горизонтальными рабочими камерами (ГРК); с вертикальными рабочими камерами (ВРК).

В машинах с ГРК (рис. 2) зерна крупного заполнителя совершают круговые движения по внутренней поверхности горизонтальных цилиндрических камер со временем капсуляции зерен в пределах от 1 до 2 мин. Производительность машин с ГРК составляет 5–10 м³/ч капсулированного крупного заполнителя для бетона КАПСИМЭТ.

В машинах с ВРК (рис. 3) зерна крупного заполнителя совершают круговые движения по внутренней поверхности конических камер, ориентированных вертикально, так что зерна заполнителя движутся сверху вниз под действием силы тяжести и центробежной силы конических камер со временем капсуляции зерен 10–20 с. Производительность таких машин составляет 10–30 м³/ч по выходе капсулированного материала.

Установки комплектуются расходным бункером крупного заполнителя, растворомешалкой и бетононасосом для подачи цементного или цементно-песчаного раствора и устройством для выгрузки готового материала в транспорт. Разработан также мобильный капсулятор-смеситель для ремонтных работ на трассах (рис. 4).

Первая в мире автомобильная дорога из дренажного бетона в поселке Цильна Ульяновской области

В октябре 2014 г. ООО «ИМЭТСТРОЙ» построен участок дороги с применением дренажного бетона



Рис. 4. Мобильный капсулятор-смеситель КЦ-2 для ремонтных работ по крупнопористому дренажному бетону КАПСИМЭТ на трассах
Fig. 4. Mobile capsulator-mixer KT-2 for repair work on large-pore draining concrete CAPSIMET on highways

КАПСИМЭТ протяженностью около 200 м и шириной 6 м. Участок дороги предназначен для подъезда к промышленной территории производственной базы (рис. 5).

В связи с отсутствием специального оборудования бетонная смесь для дренажного бетона изготавливалась в бетоносмесителе планетарного типа. На уплотненный слой песка толщиной 20 см укладывался дренажный бетон слоями по 100 мм (общая средняя толщина слоя дренажного бетона 300 мм) на трех фракциях щебня: фракция 20–40 мм, затем 5–20 мм и под финишное покрытие 5–10 мм. Средний расход цемента без смесителей-капсуляторов на 1 м³ бетонной смеси был более высокий и составил 190–200 кг.

Во время проведения работ температура воздуха опускалась до -7°С, в связи с чем применялась специально подобранная химическая добавка с противоморозным и пластифицирующим эффектом.

Укладка бетона велась вручную с использованием металлических швеллеров. Толщина уложенного слоя дренажного бетона колебалась от 280 до 320 мм.

Верхний слой финишного покрытия, для сравнения, выполнен на участках дороги в трех вариантах: горячая асфальтобетонная смесь около 130 мм; цементно-песчаная смесь около 30 мм; литой асфальт около 30 мм.

Необычная ячеистая структура КАПСИМЭТ с плотной упаковкой зерен крупного заполнителя и тонкими, в десятые доли мм, склеивающими прослойками гидратированного цемента, обуславливает высокие строительно-технические свойства нового материала при превосходящей асфальтобетон прочности; в нем не распространяются трещины, он неподвержен тепловой усадке и расширению, отличается высокой водо- и воздухопроницаемостью и морозостойкостью. На поверхность КАПСИМЭТ прекрасно ложится слой покрытия дорожного полотна (рис. 6).

Эксплуатация экспериментального участка дороги началась через неделю после завершения работ; интенсивность движения автомобилей по ней, в том числе большегрузных, весьма значительная.



Рис. 5. Слой покрытия автомобильной дороги, выполненный из крупнопористого дренажного бетона КАПСИМЭТ. Пос. Цильна Ульяновской обл., 2014 г.

Fig. 5. Road pavement layer made of large porous draining concrete CAPSIMET. Pos. Tsilna, Ulyanovsk region, 2014

На экспериментальном участке дороги в пос. Цильна Ульяновской области в октябре 2014 г., было также выполнено обетонирование водопропускной трубы под полотном дороги крупнопористым дренажным бетоном КАПСИМЭТ (рис. 7). Конструкция водоотвода ливневых и талых вод определяется проектом в каждом конкретном случае с учетом рекомендаций СТО НОСТРОЙ 2.25.103 «Устройство водоотводных и дренажных систем при строительстве автомобильных дорог и мостовых сооружений». При этом дренажные материалы (песок, щебень), указанные в данном СТО, могут успешно заменяться на дренажный бетон КАПСИМЭТ.

За состоянием построенного экспериментального участка дороги и качеством дорожной одежды в течение восьми лет ведется наблюдение, в результате чего можно сделать следующие выводы.

1. Осадка дорожного покрытия на отдельных участках глубиной до 0,5 см, длиной до 15 см, шириной до 10 см; участки осадки отмечены в местах устройства над дренажным бетоном цементно-песчаного покрытия. При проверке поверхности дорожного покрытия на таких участках металлической рейкой с уровнем были зафиксированы отклонения до 5 мм.

2. На отдельных участках выявлены одиночные трещины в дорожном цементно-песчаном покрытии шириной 1–2 мм, длиной до 700–800 мм.

3. В конструкции дорожной одежды по всей экспериментальной дороге сохранилась целостность основания, посадочные и прочие трещины и сколы отсутствуют.

Выявленные дефекты не являются критическими в соответствии с классификатором основных видов дефектов в строительстве. Качество покрытий из цементобетона, литого асфальта и асфальтобетона соответствует требованиям действующей нормативно-технической документации.

Техническое состояние экспериментального дорожного покрытия с основанием из дренажного бетона КАПСИМЭТ в соответствии с положениями СП 13-102–2003 оценивается в течение восьми лет как работоспособное.



Рис. 6. Укладка сверху основания автомобильной дороги из дренажного бетона КАПСИМЭТ слоем покрытия дорожной одежды – дренажным асфальтобетоном по СТО АВТОДОР 2.15–2016 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон дренажные. Технические условия»

Fig. 6. Laying on top of the foundation of the road from the draining concrete CAPSIMET with a layer of pavement coating – draining asphalt concrete according to STO AVTODOR 2.15–2016 “Draining asphalt concrete and asphalt concrete mixes. Specifications”



Рис. 7. Обетонирование водопропускной трубы под полотном дороги крупнопористым дренажным бетоном КАПСИМЭТ. Пос. Цильна Ульяновской обл., 2014 г.

Fig. 7. Concreting of a culvert under the road bed with large-pore drainage concrete CAPSIMET. Pos. Tsilna, Ulyanovsk region, 2014

На основе разработанного СТО 66331738-002–2016 в настоящее время ведутся проектные работы для строительства экспериментальных участков дорог из дренажного бетона в Республике Татарстан и ЦКАД в Московской области.

Вывод

Новые дренажные цементобетоны и покрытия, разработанные ИМЭТ технология капсуляции и оборудование могут быть весьма эффективны для строительства различных площадей, дорог, особенно в сельской местности, а также строительства полос и площадок малых аэродромов с низкой себестоимостью за счет использования местного щебня или гравия с небольшим (130–150 кг на 1 м³ бетона) расходом портландцемента.



К 85-летию Андрея Александровича АСКАДСКОГО

Исполнилось 85 лет Андрею Александровичу Аскадскому – доктору химических наук, профессору, заслуженному деятелю науки РФ, члену Научного совета по полимерам РАН, члену редакционного совета журнала «Строительные материалы»®.

А.А. Аскадский родился в Москве. Окончил строительный факультет Московского института инженеров транспорта в 1959 г. и Московский химико-технологический институт им. Д.И. Менделеева по специальности «Технология пластических масс» в 1962 г.

С этого времени вся трудовая и научная жизнь Андрея Александровича связана с Институтом элементоорганических соединений Российской академии наук им. А.Н. Несмеянова. Он со студенческой скамьи увлекся наукой и уже через три года после окончания института защитил кандидатскую диссертацию, а в 1968 г. – диссертацию на соискание ученой степени доктора химических наук.

Среди научных интересов Андрея Александровича разработка физического подхода для количественной оценки физических свойств линейных и сетчатых полимеров на основе их химического строения; экспериментальное исследование структуры и свойств термостойких ароматических полимеров разных классов, исследование структуры и свойств полиакриламидных гидрогелей медицинского назначения. Компьютерные программы, позволяющие производить все расчеты свойств и осуществлять компьютерный синтез полимеров с заданными свойствами, алгоритмы которых были разработаны А.А. Аскадским, внедрены в отечественные и зарубежные компании. Разработаны новые методы экспериментального и теоретического анализа релаксационных свойств полимерных материалов, получены полимеры нового типа – интерполимеры. Получены и исследованы электропроводящие полимерные материалы на основе термостойких полимеров и элементоорганических соединений. Созданы градиентные композиционные полимерные материалы, обладающие переменным модулем упругости в пределах одного и того же материала и сохраняющие упругие, а не вязкоупругие свойства в любой точке градиента.

В настоящее время Андрей Александрович продолжает заведовать лабораторией полимерных материалов ИНЭОС РАН, активно участвует в научных конференциях, руководит работой аспирантов и докторантов. Более 40 лет Александр Андреевич профессорствует в МГСУ, а также проводит занятия со студентами физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Под руководством А.А. Аскадского защищены 32 кандидатские диссертации и подготовлены пять докторов наук.

А.А. Аскадский – автор более 750 работ, включая 32 книги по различным разделам физикохимии полимеров, из них восемь книг опубликовано за рубежом. Публикации Александра Андреевича процитированы более 5,5 тыс. раз российскими и зарубежными коллегами. Очередная книга сейчас в работе.

Большая страсть Андрея Александровича – музыка. Блестящий пианист, он всегда выступает на международных и отечественных конференциях не только с научными докладами, но и в качестве музыканта. Например, в 2006 г. он дал в Нью-Йорке концерт в двух отделениях для нобелевских лауреатов, исполняя джазовые фортепьянные импровизации, русские и цыганские романсы.

Редакция и редакционный совет, коллеги сердечно поздравляют Андрея Александровича Аскадского с 85-летием и желают крепкого здоровья, бодрости духа, научных достижений и их внедрения, успехов во всех начинаниях и благополучия.

УДК 691.175.5/8

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-52-57>

Т.А. МАЦЕЕВИЧ¹, д-р физ.-мат. наук (MatseevichTA@mgsu.ru),

Т.В. ЖДАНОВА¹ (zhdanovatv@mgsu.ru),

А.А. АСКАДСКИЙ^{1,2}, д-р хим. наук (andrey@ineos.ac.ru)

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

² Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН (119991, г. Москва, ул. Вавилова, 28)

Оценка модулей упругости смесей поливинилхлорида с рядом синтетических полимеров

Изложен способ прогнозирования модуля упругости материалов на основе смесей совместимых и несовместимых полимеров. Эти материалы содержат тонкие дисперсии одного из полимеров в полимерной матрице другого полимера. Проанализирована дисперсия твердого аморфного полимера определенного химического строения в твердой аморфной матрице полимера другого химического строения. Проанализированы модули упругости при одноосном растяжении, модули сдвига и объемные

модули. Зависимости модулей упругости от мольной, весовой и объемной доли определяются ван-дер-ваальсовым объемом компонентов, молекулярной массой повторяющихся звеньев, плотностью компонентов. Построены зависимости модуля упругости смесей поливинилхлорида с рядом полимеров, включая ароматические полиэфиры, полиэфиркетоны, полисульфон, поликарбонат. Наибольшее увеличение модуля упругости от 2400 до 3980 МПа при одноосном растяжении дает полипиромеллитимид анилинфталена.

Ключевые слова: модули упругости при одноосном нагружении, константы Ламе, ван-дер-ваальсовы объемы, модуль сдвига, модуль объемной упругости, поливинилхлорид, полиэфиркетон, полиэфирэфиркетон, полисульфон, полиарилат, полифениленоксид, поликарбонат, полиимид.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект «Теоретико-экспериментальное конструирование новых композитных материалов для обеспечения безопасности при эксплуатации зданий и сооружений в условиях техногенных и биогенных угроз» № FSWG-2020-0007 (МГСУ) и тема Госзадания ИНЭОС РАН № 0085-2019-0004).

Для цитирования: Мацевич Т.А., Жданова Т.В., Аскадский А.А. Оценка модулей упругости смесей поливинилхлорида с рядом синтетических полимеров // *Строительные материалы*. 2022. № 5. С. 52–57. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-52-57>

T.A. MATSEEVICH¹, Doctor of Sciences (physics and mathematics) (MatseevichTA@mgsu.ru),

T.V. ZHDANOVA¹ (zhdanovatv@mgsu.ru);

A.A. ASKADSKII^{1,2}, Doctor of Sciences (chemistry) (andrey@ineos.ac.ru)

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

² A.N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds of Russian Academy of Sciences (INEOS RAS)

(28, Vavilova Street, Moscow, 119991, Russian Federation)

Evaluation of Elastic Modulus of Mixtures of Polyvinyl Chloride with a Number of Synthetic Polymers

The method for predicting the elastic modulus of materials based on mixtures of compatible and incompatible polymers is described. These materials contain fine dispersions of one of the polymers in a polymer matrix of another polymer. The dispersion of a solid amorphous polymer of a certain chemical structure in a solid amorphous matrix of a polymer of a different chemical structure is analyzed. Moduli of elasticity under uniaxial tension, shear moduli and bulk moduli are analyzed. The dependences of the elastic moduli on the mole, weight and volume fractions are determined by the van der Waals volume of the components, the molecular weight of the repeating units, and the density of the components. The dependences of the elastic modulus of mixtures of polyvinyl chloride with a number of polymers, including aromatic polyesters, polyether ketones, polysulfone, and polycarbonate, have been plotted. The greatest increase in the modulus of elasticity from 2400 to 3980 MPa under uniaxial tension is given by aniline polypropyleneimide.

Keywords: moduli of elasticity under uniaxial loading, Lamé constants, van der Waals volumes, shear modulus, bulk modulus, polyvinyl chloride, polyetherketone, polyetheretherketone, polysulfone, polyarylate, polyphenylene oxide, polycarbonate, polyimide.

The work was carried out with financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project “Theoretical and experimental design of new composite materials to ensure safety in the operation of buildings and structures under conditions of technogenic and biogenic threats” No. FSWG-2020-0007 (MGSU) and the topic of the State task of INEOS RAS No. 0085-2019-0004).

For citation: Matseevich T.A., Zhdanova T.V., Askadskii A.A. Evaluation of elastic modulus of mixtures of polyvinyl chloride with a number of synthetic polymers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 5, pp. 52–57. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-52-57>

Новые полимерные материалы разрабатываются, как правило, путем создания смесей известных полимеров. К настоящему времени изучены механические свойства (прочность, модуль упругости и др.) большого количества смесей полимеров, но лишь некоторые исследования связаны с расчетными методами прогнозирования. Кратко рассмотрим эти работы. Для смесей полистирола и АБС-пластика найдено, что их механические свойства лучше, чем аналогичные свойства составляющих компонентов [1]. Авторы объясняют это хорошей совместимостью данных полимеров. В работе [2] рассмотрены различные расчетные методы оценки зависимостей модуля упругости от состава смесей. Эти зависимости часто являются экстремальными и обладают максимумами, т. е. модули упругости смесей могут превосходить средние значения для различных составов.

Исследовали морфологию и свойства смесей полистирола с сополимером стирола и акрилонитрила. Измеренные модули упругости смесей сравнивали с расчетными значениями, которые описывали с помощью теории Дои [3]. Нашли, что основную роль играет увеличение размера частиц, связанное с из-

менением межфазного натяжения и вязкости смесей. Влияние межфазного натяжения в несовместимых смесях полимеров изучалось в ряде работ [4–8]. Большое внимание уделяется морфологии смесей, размерам частиц, попыткам приготовления тонкодисперсных смесей и влиянию всех этих факторов на модуль упругости и другие механические свойства [9–12].

Несмотря на наличие большого числа работ, посвященных структуре и механическим свойствам смесей, анализируемая в данной работе тема до конца не исследована. Прежде всего это относится к возможности предсказания совместимости полимеров на основе их химического строения и фазового состояния, оценке модуля упругости смеси с учетом фазового и физического состояния смешиваемых полимеров (дисперсия твердого полимера в эластомере, дисперсия двух твердых, стеклообразных или кристаллических полимеров). При этом возможно химическое взаимодействие между микрофазами. Все это влияет на модуль упругости материалов на основе смесей полимеров. В данной статье рассмотрена дисперсия твердого полимера 1 в твердом полимере 2.

Расчетная часть

Модуль упругости в общем виде зависит от коэффициента Пуассона ν :

$$\nu_{xy} = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x}; \quad \nu_{zx} = \frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_x}, \quad (1)$$

где $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ – относительные деформации по соответствующим осям.

Модуль упругости связан с константами Ламе λ .

Первая константа Ламе λ_1 связывает модуль упругости с коэффициентом Пуассона:

$$\lambda_1 = \frac{E\nu}{[(1+\nu) \cdot (1-2\nu)]}; \quad (2)$$

$$\lambda_1 = K - \frac{2}{3} \lambda_2, \quad (3)$$

где ν – коэффициент Пуассона; K – модуль объемного сжатия; $G=r/\alpha$; r – касательное напряжение; α – угол сдвига.

Вторая константа Ламе λ_2 связывает модуль упругости с модулем сдвига, причем они равны друг другу:

$$\lambda_2 = G = \frac{E}{2(1+\nu)}. \quad (4)$$

Рассмотрим соотношения, связывающие модуль упругости при одноосном нагружении с модулем сдвига и с модулем объемной упругости. Связь модуля упругости E с модулем сдвига G и с модулем объемной упругости K определяется соотношениями:

$$E = G \frac{3\lambda + 2G}{\lambda + G}; \quad (5)$$

$$E = 2G(1 + \lambda); \quad (6)$$

$$E = 9K \frac{K - \lambda}{3K - \lambda}; \quad (7)$$

$$E = 3K(1 - 2\lambda). \quad (8)$$

Модули упругости рассчитывали по формулам (6) и (8). Входящие в эти формулы модули объемной упругости K рассчитывали по методу Бицерано [14]. Кратко рассмотрим этот метод расчета. Формула расчета модуля объемной упругости K выглядит следующим образом:

$$K_T = 8,23333 E_{coh} \left[\frac{5(V_{M,OK})^4}{(V_{M,T})^5} - \frac{3(V_{M,OK})^2}{(V_{M,T})^3} \right], \quad (9)$$

где $V_{M,OK}$ – мольный объем при 0К; $V_{M,T}$ – мольный объем при температуре T ; E_{coh} – мольная энергия когезии (эта величина может быть рассчитана с помощью ЭВМ-программы «Каскад», ИНЭОС РАН).

Величина коэффициента Пуассона ν_T (в стеклообразном состоянии), зависящего от температуры T , рассчитывается по следующему соотношению:

$$\nu_T = \nu_0 + \frac{50T}{T_g} \{0,00163 + \exp[0,459(T - T_g - 13)]\}, \quad (10)$$

где T_g – температура стеклования.

Входящая в это соотношение величина ν_0 рассчитывается следующим образом:

$$\nu_0 = \nu_{298K} - \frac{14900}{T_g} \{0,00163 + \exp[0,459(285 - T_g)]\}, \quad (11)$$

где величина ν_{298K} определяется как:

$$\nu_{298K} = 0,513 - 3,054 \cdot 10^{-6} \frac{V_w}{I_m}, \quad (12)$$

где V_w – ван-дер-ваальсов объем; I_m – длина повторяющегося звена полимера в полностью вытянутой конформации.

Для проведения анализа модуля упругости E смеси используем формулу, полученную в работе [13], и преобразуем ее:

$$E = \frac{\alpha_{m,p1} \left(\sum_i \Delta V_i \right)_{p,1} + \alpha_{m,p2} \left(\sum_i \Delta V_i \right)_{p,2} + \dots + \alpha_{m,pn} \left(\sum_i \Delta V_i \right)_{p,n}}{\frac{\alpha_{m,p1} \left(\sum_i \Delta V_i \right)_{p,1}}{E_1} + \frac{\alpha_{m,p2} \left(\sum_i \Delta V_i \right)_{p,2}}{E_2} + \dots + \frac{\alpha_{m,pn} \left(\sum_i \Delta V_i \right)_{p,n}}{E_n}}. \quad (13)$$

В формуле (13) $\left(\sum_i \Delta V_i \right)_{p,1}, \left(\sum_i \Delta V_i \right)_{p,2}, \left(\sum_i \Delta V_i \right)_{p,n}$ – ван-дер-ваальсовы объемы повторяющихся звеньев (или повторяющихся фрагментов сетки) полимеров 1, 2 и n соответственно; $\alpha_{m,p1}, \alpha_{m,p2}$ и $\alpha_{m,pn}$ – мольные доли полимеров 1, 2 и n соответственно; E_1, E_2 и E_n – модули упругости при одноосном нагружении полимеров 1, 2 и n соответственно.

В более компактной форме уравнение (13) записывается в виде:

$$E = \frac{\sum_{k=1}^{k=n} \alpha_k \left(\sum_i \Delta V_i \right)_k}{\sum_{k=1}^{k=n} \frac{\left(\sum_i \Delta V_i \right)_k}{E_k}}, \quad (14)$$

где α_k – мольная доля k -го компонента; $\left(\sum_i \Delta V_i \right)_k$ – ван-дер-ваальсов объем k -го компонента; E_k – модуль упругости k -го компонента.

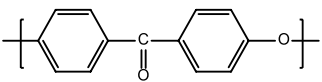
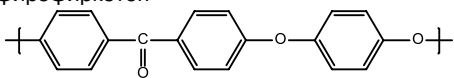
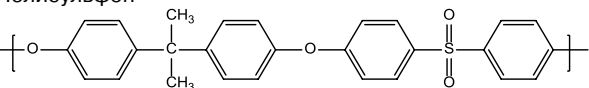
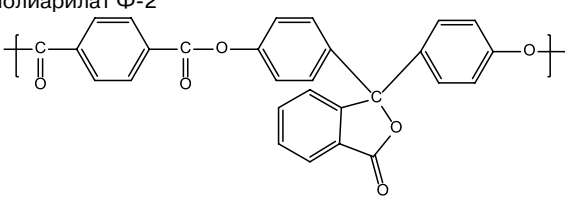
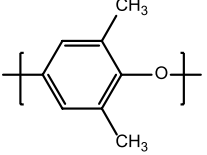
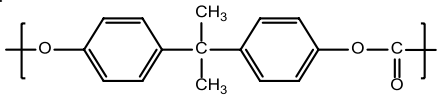
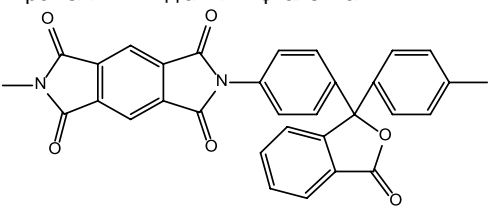
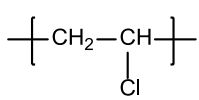
Учитывая, что для двухкомпонентной системы $\alpha_{m,1} + \alpha_{m,2} = 1$, уравнение (14) записывается в виде:

$$E = \frac{1 + \alpha_{m,2} \left[\frac{\left(\sum_i \Delta V_i \right)_2}{\left(\sum_i \Delta V_i \right)_1} - 1 \right]}{\frac{1}{E_1} + \alpha_{m,2} \left[\frac{\left(\sum_i \Delta V_i \right)_2}{\left(\sum_i \Delta V_i \right)_1} \frac{E_2}{E_1} - \frac{1}{E_1} \right]}. \quad (15)$$

В уравнении (15) $\left(\sum_i \Delta V_i \right)_1$ и $\left(\sum_i \Delta V_i \right)_2$ – ван-дер-ваальсовы объемы повторяющихся звеньев (или повторяющихся фрагментов сетки) полимеров 1 и 2 соответственно; $\alpha_{m,1}$ и $\alpha_{m,2}$ – мольные доли полимеров 1 и 2 соответственно; E_1 и E_2 – модули упругости полимеров 1 и 2 соответственно.

Проведем оценки зависимостей модуля упругости от мольной доли второго полимера, вводимого в смесь с поливинилхлоридом (ПВХ). Оценки сделаны по уравнению (15), в которое входит ряд физических

Таблица 1
Table 1Модули упругости E ряда полимеров
Elastic modulus E of a number of polymers

№	Полимер	Модуль упругости E , МПа	Ван-дер-ваальсов объем $(\sum_i \Delta V_i)$, Å ³	$\frac{(\sum_i \Delta V_i)_2}{(\sum_i \Delta V_i)_1}$	$\frac{M_{p2} \cdot \rho_{p1}}{M_{p1} \cdot \rho_{p2}}$
1	Полиэфиркетон 	2350	178	3,574	3,613
2	Полиэфирэфиркетон 	2110	205	4,192	5,351
3	Полисульфон 	2280	312	6,38	8,165
4	Полиарилат Ф-2 	2790	390	7,975	7,94
5	Поли-2,6-диметилфениленоксид 	1890	92	1,881	2,383
6	Поликарбонат 	1780	187	3,824	4,877
7	Полипиромеллитимид анилинфталена 	3980	409	8,364	8,314
	Поливинилхлорид 	2400	48,9	1	

параметров. Эти параметры представлены в табл. 1 для полимеров разных классов, которые, по данным работы [15], являются совместимыми с поливинилхлоридом. Поскольку тема статьи – прогнозирование модулей упругости для смесей полимеров, оценим все физические параметры полимеров расчетным путем. Модуль упругости при растяжении рассчитывается методом Дж. Бицерано [14] с помощью компьютерной программы DTW PDtools. Ван-дер-ваальсов объем $(\sum_i \Delta V_i)$ и плотность ρ полимеров

рассчитывается с помощью компьютерной программы «Каскад» (ИНЭОС РАН).

Полученные зависимости модуля упругости E от мольной доли второго полимера показаны на рис. 1.

На рис. 1 видно, что ряд полимеров (№ 1, 2, 3, 5, 6) несколько снижает модуль упругости поливинилхлорида при введении его в состав смеси. Другие полимеры (№ 4, 7) повышают модуль упругости, причем при сравнительно небольших концентрациях модуль упругости растет быстро с увеличением concentra-

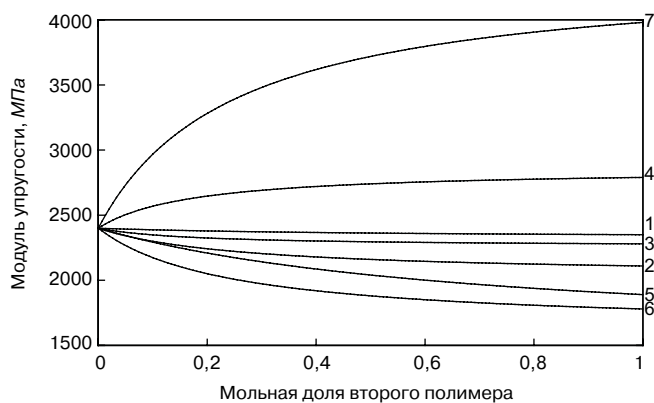


Рис. 1. Зависимость модуля упругости от молярной доли второго полимера. Номера кривых соответствуют номерам полимеров в табл. 1

Fig. 1. Dependence of modulus of elasticity on molar fraction of the second polymer. The curve numbers correspond to the polymer numbers in Table 1

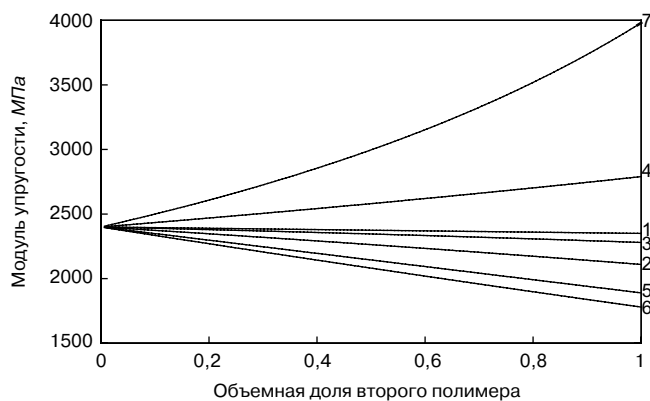


Рис. 2. Зависимости модуля упругости от объемной доли второго полимера. Номера кривых соответствуют номерам полимеров в табл. 1

Fig. 2. Dependence of modulus of elasticity on volume fraction of the second polymer. The curve numbers correspond to the polymer numbers in Table 1

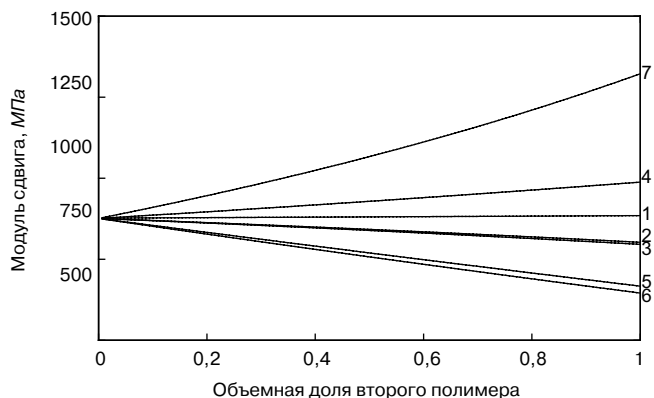


Рис. 3. Зависимость модуля сдвига от объемной доли второго полимера. Номера кривых соответствуют номерам полимеров в табл. 1

Fig. 3. Dependence of shear modulus on volume fraction of the second polymer. The curve numbers correspond to the polymer numbers in Table 1

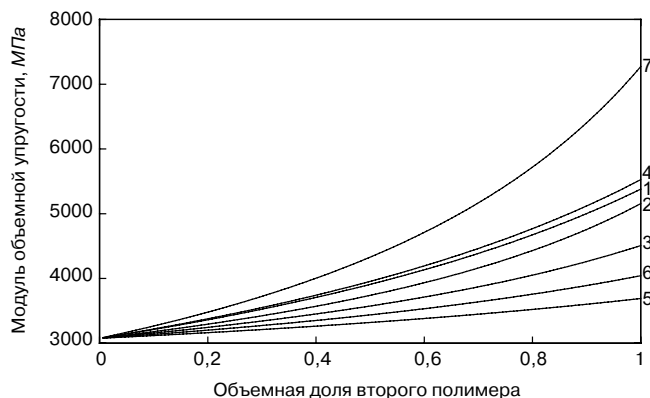


Рис. 4. Зависимости модуля объемной упругости от объемной доли второго полимера. Номера кривых соответствуют номерам полимеров в табл. 1

Fig. 4. Dependence of the modulus of volumetric elasticity on the volumetric fraction of the second polymer. The curve numbers correspond to the polymer numbers in Table 1

ции добавляемого полимера, а затем возрастание замедляется.

Теперь проанализируем зависимости E от объемной доли полимера 2. Молярная доля связана с объемной долей следующим соотношением:

$$\alpha_{m,2} = \frac{1}{1 + \frac{M_{p2}}{M_{p1}} \frac{\rho_{p1}}{\rho_{p2}} \left(\frac{1}{\beta_2} - 1 \right)}, \quad (16)$$

где M_{p1} и M_{p2} – молекулярные массы повторяющихся звеньев полимеров 1 и 2 соответственно; ρ_{p1} и ρ_{p2} – их плотности; β_2 – объемная доля полимера 2.

Подстановка (16) в (15) позволяет провести описание зависимости модуля упругости E от объемной доли полимера 2:

$$E = \frac{1 + \frac{\left[\frac{(\sum_i \Delta V_i)_{p2}}{(\sum_i \Delta V_i)_{p1}} - 1 \right]}{1 + \frac{M_{p2}}{M_{p1}} \frac{\rho_{p1}}{\rho_{p2}} \left(\frac{1}{\beta_2} - 1 \right)}}{\frac{1}{E_1} + \frac{\left[\frac{(\sum_i \Delta V_i)_{p2}}{(\sum_i \Delta V_i)_{p1}} - 1 \right]}{E_2}}}. \quad (17)$$

Таблица 2
Table 2

Модули упругости G и K ряда полимеров
Elastic modulus G and K of polymer series

№	Коэффициент Пуассона	Модуль упругости G , МПа	Модуль упругости K , МПа	Модуль упругости E , МПа
1	0,427	850	5380	2440 (1) 2360 (2)
2	0,428	800	5150	2270 (1) 2230 (2)
3	0,421	800	4510	2280 (1) 2140 (2)
4	0,416	980	5530	2790 (1) 2790 (2)
5	0,415	670	3690	1890 (1) 1880 (2)
6	0,424	650	4040	1840 (1) 1840 (2)
7	0,409	1410	7270	3970 (1) 3970 (2)
	0,37	875	3080	2400 (эксп.)

Примечание. Величины модуля E с индексом (1) получены с помощью функции Рао, с индексом (2) – с помощью функции Хартмана.

Рис. 2 демонстрирует зависимости E от β_2 . Эти зависимости качественно такие же, как и зависимости модуля упругости от мольной доли второго полимера. Из них видно, что модуль упругости может повыситься на сравнительно небольшую величину, но в большинстве случаев он снижается при введении в смесь второго полимера.

Проведем аналогичный анализ прогнозирования модуля сдвига G и модуля объемной упругости K . В табл. 2 приведены модули сдвига и модуль объемной упругости тех же полимеров, которые рассчитаны методом Бицерано [14]. Также приведены величины E для сопоставления. Номера полимеров соответствуют номерам, приведенным в табл. 1.

На рис. 3 показаны зависимости модуля сдвига от объемной доли второго полимера.

Зависимости модуля объемной упругости от объемной доли второго полимера показаны на рис. 4.

Заключение

Возможность расчета модулей упругости материалов на основе смесей полимеров продемонстрирована на примере дисперсии твердого полимера 1 в твердом полимере 2. Зависимости модулей упругости от мольной и объемной доли обладают различной формой, связанной с ван-дер-ваальсовым объемом компонентов, молекулярной массой повторяющихся звеньев, плотностью компонентов. Найдено, что модуль упругости возрастает с увеличением концентрации полимеров в смеси с ПВХ, которые имеют высокую температуру стеклования. Характер зависимости модуля сдвига от объемной доли синтетического полимера такой же, как и характер зависимости модуля при одноосном нагружении. Напротив, характер зависимости модуля объемной упругости от объемной доли второго полимера существенно отличается от аналогичной зависимости модулей упругости от мольной доли второго компонента.

Список литературы / References

- Buthaina A. Ibrahim, Karrer M. Kadum. Influence of Polymer Blending on Mechanical and Thermal Properties. *Modern Applied Science*. 2010. Vol. 4. No. 9, pp. 157–161.
- Saxe P., Freeman C., Rigby D. Mechanical Properties of Glassy Polymer Blends and Thermosets. *Materials Design, Inc., Angel Fire, NM and San Diego, CA. LAMMPS Users' Workshop and Symposium, Albuquerque. NM, August 8, 2013*.
- Doi M., Ohta T. Dynamics and rheology of complex interfaces. *J. Chem. Phys.* 1991. Vol. 95, pp. 1242–1248.
- Anastasiadis S.H., Gancarz I., Koberstein J.T. Interfacial tension of immiscible polymer blends: temperature and molecular weight dependence. *Macromolecules*. 1988. Vol. 21 (10), pp. 2980–2987.
- Biresaw G., Carriere C., Sammler R. Effect of temperature and molecular weight on the interfacial tension of PS/ PDMS blends. *Rheol. Acta*. 2003. Vol. 42. No. 1–2, pp. 142–147.
- Ellingson P.C., Strand D.A., Cohen A., Sammler R.L., Carriere C.J. Molecular Weight Dependence of Polystyrene / Poly(Methyl Methacrylate) Interfacial Tension Probed by Imbedded-Fiber Retraction. *Macromolecules*. 1994. Vol. 27. No. 6, pp. 1643–1647.
- Gramespacher H., Meissner J. Interfacial tension between polymer melts measured by shear oscillations of their blends. *J. Rheol.* 1992. Vol. 36. No. 6, pp. 1127–1141.
- Lacroix C., Bousmina M., Carreau P.J., Favis B.D., Michel A. Properties of PETG/EVA Blends: 1. Viscoelastic, Morphological and Interfacial Properties. *Polymer*. 1996. Vol. 37. No. 14, pp. 2939–2947.
- Li R., Yu W., Zhou C. Rheological characterization of droplet-matrix versus co-continuous morphology. *J. Macromol. Sci. Series B. Physics*. 2006. Vol. 45, No. 5, pp. 889–898.
- Chopra D., Kontopoulou M., Vlassopoulos D., Hatzikiriakos S. Effect of Maleic Anhydride Content on the Rheology and Phase behavior of Poly(styrene-co-maleic anhydride)/Poly(methyl methacrylate) blends. *G. Rheol. Acta*. 2001. Vol. 41, pp. 10–24.
- Guenther G.K., Baird D.G. An evaluation of the Doi-Ohta theory for an immiscible polymer blend. *J. Rheol.* 1996. Vol. 40. No. 1, pp. 1–20.
- Hashimoto T., Takenaka M., Jinnai H. Scattering Studies of Self-assembling Processes of Polymer Blends in Spinodal Decomposition. *J. Appl. Crystallogr.* 1991. Vol. 24, pp. 457–466.
- Аскадский А.А., Попова М.Н., Кондращенко В.И. Физико-химия полимерных материалов и методы их исследования: Учебное издание / Под общ. ред. А.А. Аскадского. М.: АСВ, 2015. 408 с.
- Askadskiy A.A., Popova M.N., Kondrashchenko V.I. Fiziko-khimiya polimernykh materialov i metody ikh issledovaniya [Physics and chemistry of polymer materials and methods of their research] : Uchebnoe izdanie / Pod obshch. red. A.A. Askadskogo. Moscow: ASV. 2015. 408 p.
- Bicerano J. Prediction of Polymer Properties. *New York: Marcel Dekker, Inc.*, 1996. 528 p.
- Аскадский А.А., Ван С., Курская Е.А., Кондращенко В.И., Жданова Т.В., Мацевич Т.А. Возможности предсказания коэффициента термического расширения материалов на основе поливинилхлорида // *Строительные материалы*. 2019. № 11. С. 57–65. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-776-11-57-65>
- Askadskiy A.A., Van S., Kurskaya E.A., Kondrashchenko V.I., Zhdanova T.V., Matseevich T.A. Possibilities of predicting the coefficient of thermal expansion of polyvinylchloride-based materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 11, pp. 57–65. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-776-11-57-65>

Н.Н. ЧЕРНОУСОВ¹, канд. техн. наук (nto_expert@mail.ru);
Б.А. БОНДАРЕВ², д-р техн. наук (LNSP-48@mail.ru), В.А. СТУРОВА², аспирант (v-livenceva@mail.ru),
А.Б. БОНДАРЕВ², канд. техн. наук, А.А. ЛИВЕНЦЕВА², студентка

¹ ООО «НТО»ЭКСПЕРТ» (398059, г. Липецк, Коммунальная пл., 9, оф. 314)

² Липецкий государственный технический университет (398055, г. Липецк, ул. Московская, 30)

Аналитические зависимости влияния плотности материала на прочность и деформативность конструкционного бетона при осевом сжатии

Исследование прочности материалов и использование в дальнейших расчетах основных аналитических зависимостей, получаемых на базе проводимых экспериментальных исследований, всегда являлось актуальной и повседневной задачей для ученых и инженеров, занимающихся проектированием новых материальных объектов, в числе которых здания и сооружения, возводимые строителями. В ходе проделанной работы были выведены аналитические зависимости влияния плотности материала на прочность и деформативность конструкционного бетона при осевом сжатии; для этого в статье был рассмотрен процесс разрушения бетона, проанализированы существующие взгляды на причины разрушения и гипотезы прочности тел, современные строительные нормы и правила. Установлено, что современный подход к определению прочности уже не может в полной мере описать процесс деформирования материала, устанавливающий зависимость между напряжениями и относительными деформациями. На основании результатов проведенных испытаний опытных образцов-кубиков 40×40×40, 70×70×70 мм и призм 40×40×160, 70×70×280 мм из мелкозернистого шлакобетона (МЗШБ) были получены унифицированные формулы для определения прочности при сжатии, начального модуля упругости и предельных (максимальных) относительных деформаций в зависимости от плотности материала. Опытные и расчетные прочностные и деформационные характеристики МЗШБ приведены в статье. Таким образом, основным параметром, определяющим прочность, является начальный модуль упругости материала, в связи с этим в работе более подробно был рассмотрен физический смысл модуля упругости.

Ключевые слова: плотность, прочность, шлакобетон, конструкционный бетон, деформирование.

Для цитирования: Черноусов Н.Н., Бондарев Б.А., Стурова В.А., Бондарев А.Б., Ливенцева А.А. Аналитические зависимости влияния плотности материала на прочность и деформативность конструкционного бетона при осевом сжатии // *Строительные материалы*. 2022. № 5. С. 58–67. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-58-67>

N.N. CHERNOUSOV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (nto_expert@mail.ru); B.A. BONDAREV², Doctor of Sciences (Engineering) (LNSP-48@mail.ru), V.A. STUROVA², graduate student (v-livenceva@mail.ru), A.B. BONDAREV², Candidate of Sciences (Engineering), A.A. LIVENTSEVA², student

¹ ООО "НТО" EXPERT " (office 314, 9, Kommunalnaya Square, Lipetsk, 398059, Russian Federation)

² Lipetsk State Technical University (30, Moskovskaya Street, Lipetsk, 398055, Russian Federation)

Analytical Dependences of the Effect of Material Density on the Strength and Deformability of Structural Concrete under Axial Compression

The study of the strength of materials and the use in further calculations of the main analytical dependencies obtained on the basis of ongoing experimental studies has always been an urgent and everyday task for scientists and engineers involved in the design of new material objects, including buildings and structures erected by builders. In the course of the work done, analytical dependences of the influence of material density on the strength and deformability of structural concrete under axial compression were derived, for this, the article considered the process of concrete destruction, analyzed existing views on the causes of destruction and hypotheses of the strength of bodies, modern building codes and rules. It was established that the modern approach to determining strength can no longer fully describe the process of material deformation, which establishes the relationship between stresses and relative deformations. Based on the results of the tests of prototypes of cubes 40×40×40 mm, 70×70×70 mm and prisms 40×40×160 mm, 70×70×280 mm from fine-grained slag concrete (FGSC), unified formulas were obtained for determining the compressive strength, the initial modulus of elasticity and limiting (maximum) relative deformations depending on the density of the material. Experimental and calculated strength and deformation characteristics of FGSC are given in the article. All this led to the conclusion that the main parameter that determines the strength is the initial modulus of elasticity of the material, in connection with this, the physical meaning of the modulus of elasticity was considered in more detail in the work.

Keywords: density, strength, slag concrete, structural concrete, deformation.

For citation: Chernousov N.N., Bondarev B.A., Sturova V.A., Bondarev A.B., Liventseva A.A. Analytical dependences of the effect of material density on the strength and deformability of structural concrete under axial compression. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 5, pp. 58–67. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-58-67>

Понятие прочности материала в современном мире является одним из основных при оценке качества строительных конструкций, а также материалов, из которых состоит строительная конструкция.

Прочность рассматривается как способность конструкции, ее элемента или материала, из которого

она состоит, воспринимать силовую или моментную нагрузку. Смысл разрушения в общепринятом толковании этого слова заключается в полном расстройстве, физическом уничтожении конструкции или материала. Так как величина нагрузки может изменяться в некоторых пределах и ограничена ими, то

при оценке прочности, как правило, наибольший интерес вызывают лишь граничные значения этой нагрузки или максимальные ее значения.

Процесс разрушения бетона под нагрузкой в общем виде включает в себя три стадии:

1. Скрытое накопление микротрещин (микроразрушений) – это и развитие начальных усадочных, и появление новых силовых.

2. Образование и развитие видимых макротрещин с выделением из их множества одной, реже нескольких, магистральной трещины.

3. Разделение образца на части по траектории магистральной трещины, т. е. полное его разрушение.

Свод правил 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции» устанавливает требования к проектированию бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений различного назначения, изготавливаемых, в частности, из тяжелого, мелкозернистого и легкого бетонов. Расчеты по прочности бетонных и железобетонных конструкций следует производить из условия, по которому усилия, напряжения и деформации в конструкциях от различных воздействий не должны превышать соответствующих значений, установленных нормативными документами.

Для бетонных и железобетонных конструкций, проектируемых в соответствии с требованием свода правил 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции», следует предусматривать, в частности, следующие конструкционные бетоны:

– тяжелый средней плотности от 2200 до 2500 кг/м³ включительно;

– мелкозернистый средней плотности от 1800 до 2200 кг/м³;

– легкий средней плотности от 800 до 2000 кг/м³.

Одним из основных нормируемых и контролируемых показателей качества является класс бетона по прочности при сжатии В. Класс бетона по прочности при сжатии В соответствует значению кубиковой прочности бетона при сжатии, МПа, с обеспеченностью 0,95 (нормативная кубиковая прочность). Нормируемые показатели качества бетона должны быть обеспечены соответствующим проектированием состава бетонной смеси (на основе характеристик материалов для бетона и требований к бетону), технологией приготовления бетонной смеси и производства бетонных работ при изготовлении (сооружении) бетонных и железобетонных изделий и конструкций. Нормируемые показатели качества бетона должны контролироваться как в процессе производства работ, так и непосредственно в изготовленных конструкциях.

Класс бетона по прочности при сжатии В назначают для всех видов бетонов и конструкций и принимают $V=0,778R_m$ (R_m – средняя кубиковая прочность бетона при нормативном коэффициенте вариации, равном 13,5%).

Одной из основных прочностных характеристик бетона является нормативное значение сопротивления бетона осевому сжатию (призменная проч-

ность $R_{b,n}$), которое принимается в зависимости от класса бетона по прочности при сжатии В.

В настоящее время наибольшее применение получили феноменологические теории прочности, которые кратко рассмотрены ниже.

Начиная краткий обзор существующих взглядов на причины разрушения и гипотезы прочности тел, обратимся к истории и рассмотрим в качестве примера две гипотезы. Первая гипотеза, высказанная Галилеем в 1638 г., приписывала причину разрушения тел наибольшему нормальному напряжению.

Условие прочности в этом случае имеет вид:

$$\sigma \leq [\sigma] \text{ или } \sigma_b \leq R_b, \quad (1)$$

где σ или σ_b – величина нормального напряжения в материале или в бетоне; $[\sigma]$ или R_b – величина допускаемого нормального напряжения или призменная прочность бетона.

Согласно второй гипотезе, предложенной Мариоттом в 1682 г., разрушение наступает в результате деформирования тела под нагрузкой и достижения деформациями тела предельных значений. По второй гипотезе условие прочности можно записать в виде следующего выражения:

$$\varepsilon \leq [\varepsilon] \text{ или } \varepsilon_b \leq \varepsilon_{\max}, \quad (2)$$

где ε или ε_b – величина относительной деформации материала или бетона; $[\varepsilon]$ или ε_{\max} – величина допускаемой предельной относительной деформации или максимальные относительные деформации бетона, после достижения которых напряжения в бетоне перестают расти.

Анализируя современные строительные нормы 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции» и 15.13330.2020 «Каменные и армокаменные конструкции», можно увидеть, что основные эмпирические зависимости в них построены на учете гипотез прочности, начало которым положили Галилей и Мариотт.

По опытным данным [1–6], предельные деформации бетона при сжатии изменяются в пределах $\varepsilon_{\max}=0,0015–0,003$, уменьшаясь при повышении прочности тяжелого бетона и с наблюдением тенденции к повышению с ростом класса для конструкционного шлакопемзобетона. Предельные деформации бетона при сжатии можно увеличить, применяя более деформативные заполнители и обеспечивая достаточно надежное сцепление между ними.

Рассмотренные выше гипотезы прочности достаточно просты, понятны, и параметры, предлагаемые этими гипотезами и свидетельствующие об исчерпании несущей способности, могут быть отслежены с использованием несложного оборудования. Гипотезы эти изначально распространялись на линейно нагружаемые и деформируемые элементы.

Наибольшего развития феноменологическая теория прочности достигла в экспериментальном описании диаграмм деформирования материалов, в частности конструкционного бетона (рис. 1).

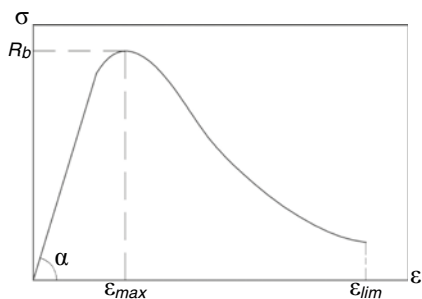


Рис. 1. Диаграмма деформирования бетона при сжатии
Fig. 1. Diagram of concrete deformation under compression

На рис. 1. по оси абсцисс отложены изменения относительных деформаций сжатия бетона, по оси ординат – напряжения, возникающие в нормальном сечении бетонного образца при сжатии.

При создании рис. 1 использованы следующие обозначения:

- R_b – призмочная прочность бетона;
- ϵ_{max} – максимальные относительные деформации бетона, после достижения которых напряжения в бетоне перестают расти (в СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции» приняты едиными для всех видов бетона предельные относительные деформации $\epsilon_{max} = \epsilon_{b0} = 0,002$); предельные (максимальные) относительные деформации $\epsilon_{max} = \epsilon_{bR}$ при нелинейной связи между напряжениями и деформациями можно определять по формуле:

$$\epsilon_{bR} = \frac{R_b}{E_b} \cdot (1 + \eta_e), \quad (3)$$

где η_e – параметр нелинейности деформирования, определяемый из опыта (для обычных бетонов $\eta_e = 37,5/R_b$ – формула Бондаренко В.М. [1]; для мелкозернистого шлакопемзобетона $\eta_e = 25/R_b$ – формула Черноусова Н.Н. [3]); на основании опытных данных авторов статьи для МЗШБ:

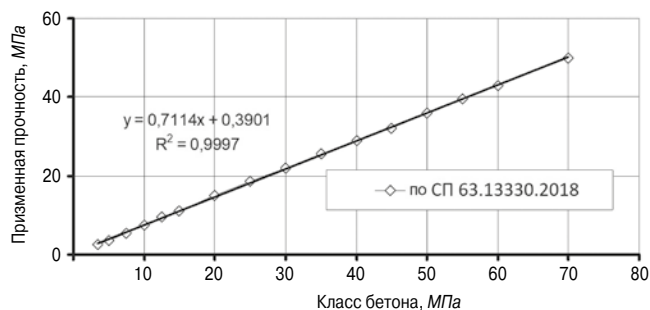


Рис. 2. Зависимость призмочной прочности бетона ($R_{b,n}$) от класса бетона (В)
Fig. 2. Dependence of the prismatic strength of concrete ($R_{b,n}$) on the concrete class (В)

$$\eta_e = \frac{21,7 \cdot \ln R_b - 37,3}{R_b}, \quad (3.1)$$

где ϵ_{lim} – предельные деформации бетона, после достижения которых бетон полностью разрушается, т. е. происходит разделение образца на части по траектории магистральной трещины (в СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции» приняты едиными для всех видов бетона максимальные относительные деформации $\epsilon_{lim} = \epsilon_{b2} = 0,0035$); α – угол наклона начального участка диаграммы, соответствующий упругой работе материала, связанный с модулем упругости материала выражением $E = tg\alpha$.

Прочностные и деформационные характеристики тяжелого ($\rho = 2200 - 2500 \text{ кг/м}^3$), мелкозернистого ($\rho = 1800 - 2200 \text{ кг/м}^3$) и легкого бетона ($\rho = 1600 - 2000 \text{ кг/м}^3$), применяемых при проектировании бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений различного назначения СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции», приведены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Основные прочностные и деформационные характеристики конструкционного бетона
The main strength and deformation characteristics of structural concrete

Класс бетона В, МПа	Призмочная прочность, R_{bn} , МПа	Начальный модуль упругости при сжатии E_b , МПа и ϵ_{max}						
		Тяжелый бетон плотностью ρ , кг/м ³		Мелкозернистый бетон плотностью ρ , кг/м ³		Легкий бетон плотностью ρ , кг/м ³		
		2200–2500		1800–2200		1600	1800	2000
		$E_b \times 10^{-3}$	$\epsilon_{max} \times 10^3(3)$	$E_b \times 10^{-3}$	$\epsilon_{max} \times 10^3(3)$	$E_b \times 10^{-3}$		
3,5	2,7	9,5	4,23	7	5,74	9	–	–
5	3,5	13	3,153	10	4,1	10	11,2	–
7,5	5,5	16	2,69	13,5	3,19	11,5	13	14,5
10	7,5	19	2,37	15,5	2,9	12,5	14	16
12,5	9,5	21,5	2,19	17,5	2,69	13,2	14,7	17
15	11	24	2,02	19,5	2,49	14	15,5	18
20	15	27,5	1,91	22	2,39	15,5	17	19,5
25	18,5	30	1,87	24	2,33	16,5	18,5	21
30	22	32,5	1,83	26	2,29	17,5	19,5	22
35	25,5	34,5	1,83	27,5	2,29	18	20,5	23
40	29	36	1,85	28,5	2,33	–	21	23,5

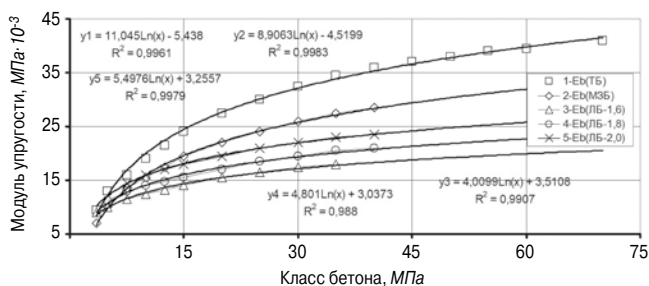


Рис. 3. Зависимость начального модуля упругости от класса бетона
Fig. 3. Dependence of the initial modulus of elasticity on the concrete class

Основную прочностную характеристику бетона (призменную прочность $R_{b,n}$) с учетом данных табл. 1 можно принимать (рис. 2) для всех видов конструктивных бетонов СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции» по формуле:

– в зависимости от класса бетона по прочности при сжатии B (рис. 1):

$$R_{b,n} = 0,7114 \cdot B + 0,3901; \quad (4)$$

– в зависимости от средней кубиковой прочности бетона при сжатии R_m :

$$R_{b,n} = 0,555 \cdot R_m + 0,3901. \quad (5)$$

Современный подход к определению прочности уже не ограничивается определением момента физического разрушения, надежность работы конструкции обеспечивается прогнозированием ее напряженно-деформированного состояния в любой момент нагружения и эксплуатации.

Вышерассмотренные теории прочности не дают ответа на этот вопрос, который на современном уровне развития техники стал одним из главных. Сочетание теорий прочности с законом Гука позволяет в некоторой степени снять остроту проблемы, но не отражает во многих случаях фактической кривой деформирования материала, устанавливающей зависимость между напряжениями и относительными деформациями.

Закон Гука может быть записан в следующем виде:

$$\sigma = E\varepsilon \quad \text{или} \quad \sigma_b = E_b\varepsilon_b, \quad (6)$$

где σ или σ_b – величина нормального напряжения в материале или в бетоне; ε – величина относительной деформации материала; ε_b – величина относительной деформации бетона, соответствующая упругой работе материала ($\varepsilon_b \leq \varepsilon_{\max}$); E – модуль упругости материала; E_b – начальный модуль мгновенной деформации или начальный модуль упругости бетона соответственно.

Начальный модуль упругости бетона находится как отношение σ к ε при $\sigma \leq 0,3R_b$.

Зависимость начального модуля упругости для различных конструктивных бетонов (табл. 1) от класса бетона приведена на рис. 3. В результате математической обработки нормативных данных СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные кон-

струкции» получены формулы для определения начального модуля упругости конструктивных бетонов:

– тяжелый средней плотности от 2200 до 2500 кг/м³ включительно:

$$E_b = 11045 \cdot \ln B - 5438, \quad (7)$$

или

$$E_b = 11045 \cdot \ln(0,778 \cdot R_m) - 5438, \quad (7.1)$$

или

$$E_b = 11045 \cdot \ln \left[\frac{(R_{b,n} - 0,3901)}{0,7114} \right] - 5438; \quad (7.2)$$

– мелкозернистый средней плотности от 1800 до 2200 кг/м³:

$$E_b = 8906 \cdot \ln B - 4520, \quad (8)$$

или

$$E_b = 8906 \cdot \ln(0,778 \cdot R_m) - 4520, \quad (8.1)$$

или

$$E_b = 8906 \cdot \ln \left[\frac{(R_{b,n} - 0,3901)}{0,7114} \right] - 4520; \quad (8.2)$$

– легкий средней плотности 1600 кг/м³:

$$E_b = 4010 \cdot \ln B + 3511, \quad (9)$$

или

$$E_b = 4010 \cdot \ln(0,778 \cdot R_m) + 3511, \quad (9.1)$$

или

$$E_b = 4010 \cdot \ln \left[\frac{(R_{b,n} - 0,3901)}{0,7114} \right] + 3511; \quad (9.2)$$

– легкий средней плотности 1800 кг/м³:

$$E_b = 4801 \cdot \ln B + 3037, \quad (10)$$

или

$$E_b = 4801 \cdot \ln(0,778 \cdot R_m) + 3037, \quad (10.1)$$

или

$$E_b = 4801 \cdot \ln \left[\frac{(R_{b,n} - 0,3901)}{0,7114} \right] + 3037; \quad (10.2)$$

– легкий средней плотности 2000 кг/м³:

$$E_b = 5498 \cdot \ln B + 3256, \quad (11)$$

или

$$E_b = 5498 \cdot \ln(0,778 \cdot R_m) + 3256, \quad (11.1)$$

или

$$E_b = 5498 \cdot \ln \left[\frac{(R_{b,n} - 0,3901)}{0,7114} \right] + 3256. \quad (11.2)$$

Наряду с обычным бетоном в районах с развитой металлургической промышленностью широкое применение находит бетон на основе отходов доменного производства, например, мелкозернистый шлако-

Основные прочностные и деформационные характеристики МЗШБ
The main strength and deformation characteristics of the FGSC

№ партии	Кубиковая прочность R_m , МПа	Призменная прочность R_b , МПа	Средняя плотность бетона ρ , т/м ³	Начальный модуль упругости E_b , МПа, $\times 10^3$			Максимальные относительные деформации бетона, $\times 10^3 \epsilon_{max} = \epsilon_{bR}$			
				Опыт	Формула (12)	Формула (14)	Опыт	Формула (3.1)	Формула (13)	Формула (15)
2-B5	7,7	7,7	1,57	10,5	10,8	10,3	1,57	1,4	1,67	1,51
3-B7,5	9,8	9,4	1,64	12	12,3	11,6	1,76	1,73	1,81	1,66
4-B10	16,3	16,1	1,82	16,8	16,2	15,8	2,25	2,33	2,15	2,13
5-B15	21,2	20,1	1,91	19,1	18,7	18,1	2,44	2,51	2,35	2,39
6-B20	25,6	22,8	1,98	20,7	20,8	19,7	2,55	2,58	2,5	2,56
7-B22,5	32,4	27,6	2,05	22,4	23,6	22,2	2,77	2,79	2,7	2,84

бетон (МЗШБ), использование которого совместно с дисперсным армированием стальными волокнами позволяет получать новый материал с новыми конструктивными свойствами [3].

Значение начального модуля упругости МЗШБ (постоянной величины) можно получить из опытов на сжатие и растяжение, при измерении скорости ультразвука в материале либо непосредственно при изгибе ГОСТ 24452–80 «Бетоны. Методы определения призменной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона» [7–10].

Конструкционный мелкозернистый шлакобетон (МЗШБ) на пористом мелком заполнителе (используется песок от дробления литого шлакового щебня металлургического производства ОАО «НЛМК») имеет среднюю плотность 1950–2150 кг/м³ (для классов В10–В25) и по своим свойствам отличается от мелкозернистого бетона (МЗБ) средней плотностью от 1800 до 2200 кг/м³ на кварцевом песке и легких бетонов (ЛБ) на пористых заполнителях, имеющих среднюю плотность 800–2000 кг/м³.

Бетоны на пористых заполнителях обладают в 1,5–2 раза меньшим значением модуля упругости, поэтому являются более деформативными по сравнению с бетонами на плотных заполнителях СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции» [2–6]. Значения $\epsilon_{max} = \epsilon_{bR}$ для высокопрочного шлакопемзобетона занимают промежуточное положение между предельными относительными деформациями при сжатии для равнопрочных бетонов на основе гранита и керамзита и находятся в пределах 0,002–0,00275 [2]. Это свойственно и МЗШБ [3–6].

На основании результатов испытаний опытных образцов-кубиков 70×70×70 мм и призм 70×70×280 мм из МЗШБ [4] получены формулы для определения начального модуля упругости (в зависимости от плотности ρ , кг/м³ и прочности бетона R_m , МПа) и предельных (максимальных) относительных деформаций $\epsilon_{max} = \epsilon_{bR}$ конструкционного МЗШБ:

$$E_b(R_m) = 1,95\rho\sqrt{R_m} = 1,95 \cdot (100 \cdot \ln R_m + 1780)\sqrt{R_m}; \quad (12)$$

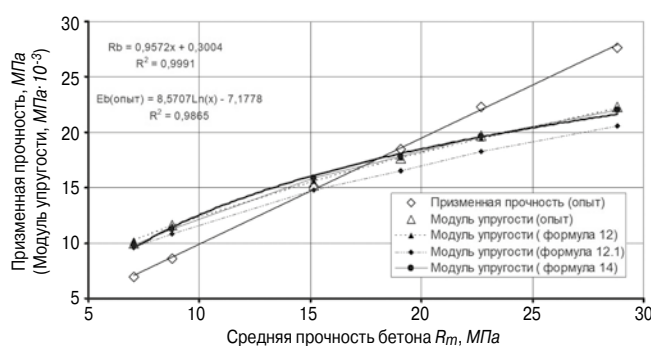


Рис. 4. Зависимости начального модуля упругости от средней прочности МЗШБ

Fig. 4. Dependences of the initial modulus of elasticity on the average strength of the FGSC

$$E_b(R_b) = 1,85 \cdot (100 \cdot \ln R_b + 1780)\sqrt{R_b}; \quad (12.1)$$

$$\epsilon_{bR} = 0,85 \cdot \sqrt[3]{R_m} \cdot 10^{-3}. \quad (13)$$

В результате математической обработки экспериментальных данных [4] и проведения дополнительных испытаний на новых образцах размерами 40×40×40 и 40×40×160 мм получены унифицированные формулы для определения начального модуля упругости конструкционного МЗШБ в зависимости от плотности ρ , т/м³ и прочности бетона R_b , МПа):

– начальный модуль упругости (с учетом плотности и прочности бетона)

$$E_b(\rho, R_b) = 1,845\rho\sqrt{R_b} + 2,29, \quad (14)$$

или

$$E_b = 8571 \cdot \ln R_m - 7178, \quad (14.1)$$

или

$$E_b = 7537 \cdot \ln(1,285 \cdot B) - 4323, \quad (14.2)$$

или

$$E_b = 7537 \cdot \ln \left[\frac{(R_{b,n} - 0,2407)}{1,2334} \right] - 4323; \quad (14.3)$$

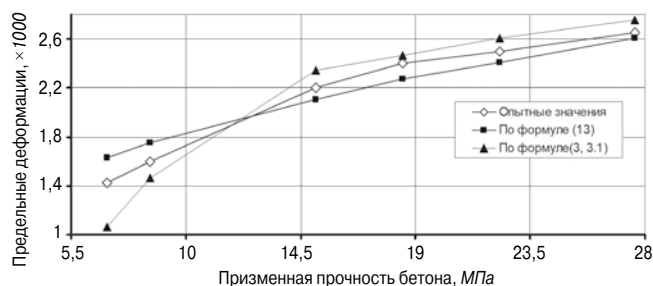


Рис. 5. Зависимость предельных относительных деформаций МЗШБ от призматической прочности бетона

Fig. 5. Dependence of the maximum relative deformations of the FGSC on the prismatic strength of concrete

– предельные (максимальные) относительные деформации $\varepsilon_{\max} = \varepsilon_{bR}$:

$$\varepsilon_{bR} = \left(0,125 \cdot \frac{\rho}{2,4} - 0,0258\right) \cdot \left(\frac{R_b}{E_b}\right)^{0,5}. \quad (15)$$

Опытные и расчетные прочностные и деформационные характеристики МЗШБ приведены в табл. 2.

Зависимости начального модуля упругости от средней прочности бетона для МЗШБ с использованием формул (12), (12.1) и (14) приведены на рис. 4.

Зависимости предельных относительных деформаций от призматической прочности МЗШБ с использованием формул (13) и (3, 3.1) приведены на рис. 5.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что основным параметром, определяющим прочность материала, является начальный модуль упругости материала, поэтому целесообразно рассмотреть более подробно физический смысл модуля упругости.

Как известно, твердые тела состоят из частиц, которые образуют структуру. Структура определяет прочностные и деформационные свойства твердого тела. Распространенное мнение, что частицами, формирующими структуру твердого тела, являются только молекулы, недостаточно обоснованно. Значительные отличия между прочностью микрочастиц и прочностью макротел, в состав которых входят эти микрочастицы, свидетельствуют об этом. Размер частиц может изменяться от 0,1 до 0,000000001 м.

В качестве примеров рассмотрим такие материалы, как бетон и алмаз. В первом случае определяющими характер разрушения могут быть частицы заполнителя, во втором случае – атомы.

Размеры, вид, свойства и сочетания частиц возможны самые разнообразные. Более того, в сплошных твердых телах структуру могут создавать скопления более плотных и более твердых частиц при их равномерном и закономерном расположении.

В строительной науке, как указывалось выше, для изучения связи между деформациями и напряжениями используют диаграммы растяжения или сжатия материалов (рис. 1).

Основными характеристиками этих диаграмм являются начальный модуль упругости, предельное

или временное сопротивление, относительные деформации при разрушении, предел упругости. Пределом упругости называются максимальные напряжения, при которых в материале еще не возникают пластические деформации.

При напряжениях, меньших предела упругости, твердое тело при деформировании подчиняется закону Гука (6). В соответствии с этой формулой в настоящее время определяется физический смысл модуля упругости как отношение приращения напряжений к приращению относительных деформаций при работе материала в упругой стадии и геометрический смысл как тангенс угла наклона диаграммы деформирования в начале нагружения.

Определим из формулы (6) усилие, деформирующее образец:

$$F = E \cdot A \cdot \frac{\Delta l}{l} = m \cdot a, \quad (16)$$

где F – сила, действующая на тело; E – модуль упругости; A – площадь сечения образца, воспринимающая усилие; Δl – величина приращения деформаций; l – длина тела; m – масса тела (или сумма масс частиц тела, определяющих упругость); a – ускорение, возникающее в результате действия силы и характеризующее движение частиц при деформировании тела.

Правая часть формулы (16) является результатом использования второго закона Ньютона. Из уравнения (16) получаем:

$$E = \frac{m \cdot a \cdot l}{A \cdot \Delta l} = \frac{\int_0^l \sum_1^n m_i \cdot a \cdot dl}{A \cdot \Delta l}. \quad (17)$$

В числителе правой части формулы (17) представлена работа, затрачиваемая на перемещение структурообразующих частиц массой m_i на расстояние dl или накопленная (изъятая) энергия, а в знаменателе – величина изменения объема тела при деформировании.

Таким образом, раскрывается новая сторона физического смысла модуля упругости.

Модуль упругости характеризует работу, которую нужно произвести, чтобы деформировать тело на единицу объема, может измеряться в Дж/м³ [11].

В результате проведенного анализа влияния плотности твердого тела плотной структуры на модуль упругости установлена линейная зависимость следующего вида:

$$E = \rho \cdot v^2, \quad (18)$$

где E – модуль упругости; ρ – плотность материала; v – величина, равная 4382 м/с [11], имеет размерность скорости.

Применение неразрушающих методов контроля позволяет в отличие от механических испытаний, вычислять упругие характеристики образцов с использованием ультразвукового дефектоскопа, следовательно, параметр v – это скорость продольной звуковой волны, замеренной ультразвуковым дефектоскопом [12].

Уравнение (18) может быть представлено в следующем виде:

Таблица 3
Table 3

Значения переменного параметра (ν) для различных бетонов
Values of the variable parameter (ν) for different concretes

Класс бетона B , МПа	Параметр ν , м/с			
	Тяжелый бетон (ТБ) ($\rho=2200-2500$ кг/м ³)	Мелкозернистый бетон (МЗБ) ($\rho=1800-2200$ кг/м ³)	Легкий бетон (ЛБ) ($\rho=1600-2000$ кг/м ³)	Мелкозернистый шлакобетон (МЗШБ) ($\rho=1700-2150$ кг/м ³)
3,5	2080	2060	2390	2254
5	2420	2410	2509	2500
7,5	2673	2755	2687	2710
10	2900	2920	2810	2940
12,5	3071	3070	2889	3040
15	3231	3200	2960	3200
20	3443	3350	3110	3280
25	3581	3450	3225	3460
30	3711	3560	3309	3450
35	3807	3610	3360	3518
$\nu_{\text{среднее}}$	3091,7	3038,5	2924,9	3035,2

$$\nu = \sqrt{E/\rho}. \quad (19)$$

Формула (19) характеризует скорость колебания структурообразующей частицы твердого тела, определяющей прочность, относительно центра равновесия. По своей форме она совпадает с формулой, описывающей фазовую скорость распространения механических упругих продольных волн в твердых телах, а также скорость распространения звуковых волн в жидкостях или газах [13]. Этот факт свидетельствует о единой, «корпускулярной», как говорил М.В. Ломоносов, природе строения газов, жидкостей и твердых тел («корпускулами» в данном случае могут быть атомы, молекулы, более крупные частицы материала со свойствами, на один или несколько порядков отличающимися от свойств тела, которое они образуют).

В атомной физике связь между энергией и массой любого вещества записывается уравнением Эйнштейна:

$$E = m \cdot c^2, \quad (20)$$

где E – энергия; m – масса тела (предполагается, что масса тела представляет собой сумму масс покоя элементарных частиц – электронов, атомов); c – скорость света в вакууме ($c \approx 3 \times 10^8$ м/с).

Сравнивая формулы (17) и (18), можно сказать, что модуль упругости характеризует энергию покоящегося тела, состоящего из макро- и микрочастиц в единице объема, которая при постоянной температуре зависит от плотности. Энергия эта имеет природу, отличную от энергии покоя, описываемой формулой (20).

Напрашиваются следующие выводы. Первый: модуль упругости вещества физического тела отражает энергию покоя частиц тела, определяющих его структурную прочность, заключенных в единице

объема. В качестве примера на рис. 3 и 4 приведены зависимости модуля упругости и прочности бетона. Второй вывод заключается в том, что модуль упругости вещества физического тела прямо пропорционален плотности и квадрату скорости колебания частиц тела, определяющих его структурную прочность в составе структуры.

Анализ напряженно-деформированного состояния бетонных образцов при одноосном сжатии показывает, что прочность бетонных образцов определяется их строением в СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции» [1–11]. Ранее было установлено, что для образцов, изготовленных из материалов, имеющих плотное строение, существует линейная зависимость между плотностью материала и его модулем упругости [11], описываемая формулой (18) при $\nu=4382$ м/с.

Для бетонов, имеющих разное строение, установлено, что параметр ν для различных бетонов имеет свое значение и зависит, кроме всего прочего, от класса бетона.

Высокая пористость изменяет структуру бетона. Поэтому при низкой плотности цементного камня бетон уже не является плотным материалом; зависимость между плотностью цементного камня и прочностью перестает носить линейный характер, т. е. параметр ν в формуле (18) является переменным и зависящим от структуры бетона.

Параметры (ν) для различных бетонов, согласно СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции» и опытным данным [3, 4], определяемым по формуле (19), приведены в табл. 3. Зависимости параметра ν от класса бетона приведены на рис. 6.

В результате математической обработки нормативных данных СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции» и экспериментальных данных [3, 4] получены формулы для определения

Таблица 4
Table 4

Опытные значения плотности (ρ) и начального модуля упругости бетона (E_b)
Experimental values of density (ρ) and initial modulus of elasticity of concrete (E_b)

Класс бетона B , МПа	Призменная прочность R_b , МПа	Тяжелый бетон (ТБ)		Мелкозернистый бетон (МЗБ)		Мелкозернистый шлакобетон (МЗШБ)	
		ρ , т/м ³	E_b , МПа $\times 10^{-3}$	ρ , т/м ³	E_b , МПа $\times 10^{-3}$	ρ , т/м ³	E_b , МПа $\times 10^{-3}$
3,5	2,7	2,2	9,5	1,65	7	1,42	7,9
5	3,5	2,22	13	1,72	10	1,49	8,9
7,5	5,5	2,24	16	1,78	13,5	1,58	10,5
10	7,5	2,26	19	1,82	15,5	1,65	11,23
12,5	9,5	2,28	21,5	1,86	17,5	1,71	12,81
15	11	2,3	24	1,9	19,5	1,77	13,83
20	15	2,32	27,5	1,96	22	1,81	15,9
25	18,5	2,34	30	2,02	24	1,92	19,8
30	22	2,36	32,5	2,05	26	2,02	23,9
35	25,5	2,38	34,5	2,11	27,5	2,09	26,19

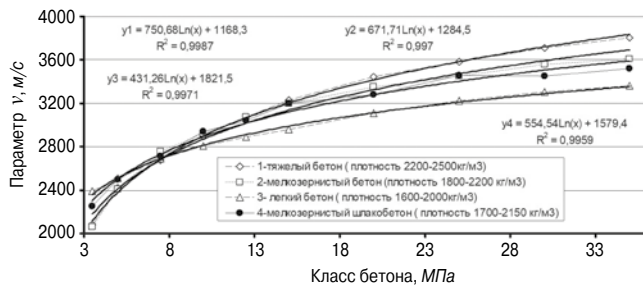


Рис. 6. Зависимости параметра ν от класса бетона
Fig. 6. Dependencies of parameter ν on the concrete class

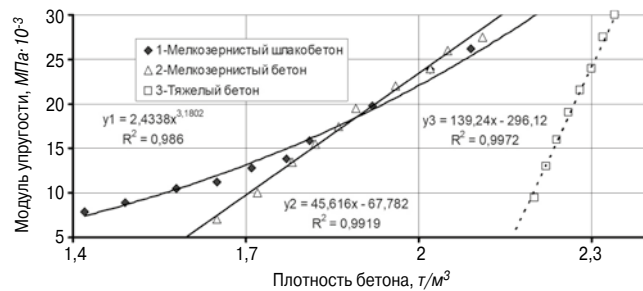


Рис. 7. Зависимость призменной прочности от плотности бетона
Fig. 7. Dependence of prismatic strength on the concrete density

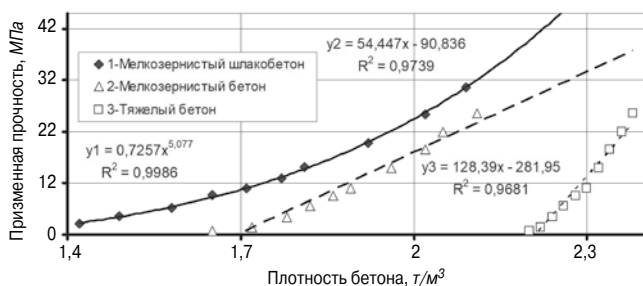


Рис. 8. Зависимость начального модуля упругости от плотности бетона
Fig. 8. Dependence of the initial modulus of elasticity on the concrete density

параметра ν для различных бетонов в зависимости от его класса:

– тяжелый средней плотности от 2200 до 2500 кг/м³ включительно:

$$\nu = 750,68 \cdot \ln B + 1168,3; \quad (21)$$

– мелкозернистый средней плотности от 1800 до 2200 кг/м³:

$$\nu = 671,71 \cdot \ln B + 1284,5; \quad (22)$$

– легкий средней плотности от 1600 до 2000 кг/м³:

$$\nu = 431,26 \cdot \ln B + 1821,5; \quad (23)$$

– мелкозернистый шлакобетон средней плотности от 1700 до 2150 кг/м³:

$$\nu = 554,54 \cdot \ln B + 1579,4. \quad (24)$$

Для получения аналитических зависимостей влияния плотности материала на прочность и деформативность конструкционного бетона при осевом сжатии (рис. 7 и 8) использованы данные табл. 4.

В результате математической обработки нормативных данных СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции» и экспериментальных данных [3, 4] получены аналитические зависимости влияния плотности материала на прочность и деформативность конструкционного бетона при осевом сжатии:

– тяжелый средней плотности от 2200 до 2500 кг/м³ включительно:

$$E_b \cdot 10^{-3} = 139,24 \cdot \rho - 296,12; \quad (25)$$

$$R_b = 128,39 \cdot \rho - 281,95; \quad (26)$$

– мелкозернистый средней плотности от 1800 до 2200 кг/м³:

$$E_b \cdot 10^{-3} = 47,319 \cdot \rho - 71,182; \quad (27)$$

$$R_b = 54,447 \cdot \rho - 90,836; \quad (28)$$

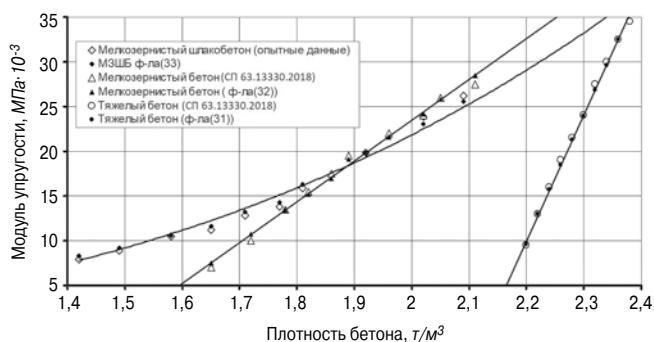


Рис. 9. Сравнение опытных и нормативных значений начального модуля упругости с формулой (18)

Fig. 9. Comparison of experimental and normative values of the initial modulus of elasticity with the formula (18)

– мелкозернистый шлакобетон средней плотности от 1700 до 2150 кг/м³:

$$E_b \cdot 10^{-3} = 2,434 \cdot \rho^{3,18}; \quad (29)$$

$$R_b = 0,726 \cdot \rho^{5,08}. \quad (30)$$

Для использования полученных зависимостей влияния плотности бетона на модуль упругости бетона при осевом сжатии для прогнозирования деформационных свойств на стадии изготовления материалов рекомендуется применять формулу (18), где параметр v определяется через плотность бетона (ρ , т/м³):

– тяжелый средней плотности от 2200 до 2500 кг/м³ включительно:

$$v \cdot 10^{-3} = \sqrt{\left(139,24 - \frac{296,12}{\rho}\right)}; \quad (31)$$

– мелкозернистый средней плотности от 1800 до 2200 кг/м³:

$$v \cdot 10^{-3} = \sqrt{\left(45,616 - \frac{67,782}{\rho}\right)}; \quad (32)$$

– мелкозернистый шлакобетон средней плотности от 1700 до 2150 кг/м³:

$$v \cdot 10^{-3} = 1,56 \cdot \rho^{1,06}. \quad (33)$$

На рис. 9 приведены сравнительные зависимости опытных и нормативных значений начального модуля упругости различных бетонов с предлагаемой формулой (18), учитывающих только один параметр – плотность бетона.

При выводе формулы (18) было сделано допущение, что объем цементного камня в процессе твердения цемента не изменяется и остается равным начальному объему цементного теста, т. е. не учитывалось повышение плотности цементного камня вследствие контракционной усадки с течением времени в условиях гидратации цемента.

Следует отметить, что бетон – это типичный пример композиционного материала, отличающийся сложностью структуры, количеством и характером компонентов, особенностями межфазовой поверхности, имеющей большое значение при воздействии внешней среды, поэтому только по плотности бетона

с достаточной достоверностью нельзя определить его прочность, так как прочность бетона зависит еще и от начального водоцементного отношения.

Водоцементное отношение связано с пористостью цементного камня, так как для гидратации цементных материалов в течение первых 28 сут твердения расходует количество воды, равное 15% от веса портландцемента, используемого для изготовления бетона. Вода, не вступившая в реакцию гидратации, остается в цементном камне в свободном виде, образуя поры, которые могут заполняться воздухом по мере испарения воды. Пористость цементного камня должна быть связана с его объемным весом или плотностью. Чем выше пористость, тем ниже плотность цементного камня и тем ниже прочность бетона.

Плотность портландцемента до гидратации составляет в среднем 3,1 г/см³, плотность полностью гидратированных минералов численно равна примерно 2,55 г/см³. Степень гидратации может изменяться от тонкости помола цемента и его минерального состава, строения частиц цемента. Если принять, что гидратируются частицы цемента на 50–65 %, то истинная плотность цементного камня составит около 2,82 г/см³.

Следовательно, прочность цементного камня в зависимости от его относительной плотности ($\rho_{ц}$) может быть описана формулой [14]:

$$R_m = A \cdot \left(\frac{1 + 0,23 \alpha \rho_{ц}}{1 + \frac{B}{C} \cdot \rho_{ц}} \right)^n. \quad (34)$$

Все параметры, входящие в эту формулу, имеют определенный физический смысл и позволяют оценивать влияние на прочность цементного камня не только начального водоцементного отношения (В/Ц), но и степени гидратации цемента α (n имеет значение, близкое к двум, и может составлять $n=2,7$ [14]).

Степень гидратации цемента, как известно, определяется многими факторами, в первую очередь продолжительностью твердения цемента и температурно-влажностными параметрами окружающей среды, химико-минералогическим составом портландцементного клинкера и тонкостью его помола, а также другими факторами, оказывающими влияние на механизм и кинетику гидратации цемента [14].

Пример. Известна плотность МЗШБ ($\rho=1,81$ т/м³). Определяем прогнозируемые характеристики бетона:

- прочность $R_b=14,8$ МПа по формуле (30);
- модуль упругости $E_b=16,06 \times 10^3$ МПа по формуле (29) или $E_b=15,13 \times 10^3$ МПа по формуле (14);
- предельные (максимальные) относительные деформации $\epsilon_{max}=0,00195$ по формуле (15).

Структуру бетона можно улучшить, применяя пластификаторы и суперпластификаторы, дисперсные наполнители и микронаполнители.

Изменяя сырье, составы и технологию, можно получать разнообразные структуры и свойства бетона в зависимости от его назначения.

Список литературы

- Бондаренко В.М. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона. Харьков: ХГУ, 1968. 324 с.
- Кричевский А.П., Лихачев В.Д., Попов В.В. Конструкционный шлакопемзобетон для промышленного строительства. М.: Стройиздат, 1986. 84 с.
- Черноусов Н.Н., Пантелькин И.И. Железобетонные конструкции с использованием дисперсно-армированного шлакопемзобетона. М.: АСВ, 1998. 230 с.
- Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Суханов А.В. Исследование механики работы мелкозернистого шлакобетона при осевом растяжении и сжатии // *Строительные материалы*. 2014. № 12. С. 59–63.
- Бондарев Б.А., Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Стурова В.А. Исследование прочностных свойств сталефиброшлакобетона при осевом растяжении и сжатии с учетом его возраста // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 20–24.
- Бондарев Б.А., Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Стурова В.А. Исследование деформативных свойств сталефиброшлакобетона при осевом растяжении и сжатии с учетом его возраста // *Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура*. 2017. Т. 8. № 1. С. 18–31.
- Бондарев Б.А., Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Стурова В.А. Динамический и статический модуль упругости сталефиброшлакобетона (СФШБ) // *Colloquium-journal*. 2019. № 15–1 (39). С. 4–6.
- Бондарев Б.А., Черноусов Р.Н. Определение модуля упругости и предела прочности сталефибробетона при растяжении методом расклинивания // *Научный вестник ВГАСУ, строительство и архитектура*. 2008. № 3 (11). С. 67–71.
- Патент РФ 2402008. Способ испытания дисперсно-армированных бетонов на растяжение / Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н. Заявл. 07.12.2009. Опубл. 20.10.2010. Бюл. № 29.
- Патент РФ 2544299. Способ испытания образцов строительных материалов на растяжение / Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Суханов А.В., Прокофьев А.Н. Заявл. 23.07.2013. Опубл. 20.03.15. Бюл. № 8.
- Никишкин В.А. Влияние структуры и плотности на прочность и деформативность плотного строительного бетона и его составляющих. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 269 с.
- Савченко Н.Л., Сабина Т.Ю., Севостьянова И.Н., Буякова С.П., Кульков С.Н. Деформация и разрушение пористых хрупких материалов при различных схемах нагружения // *Известия вузов. Физика*. 2015. Т. 58. № 11. С. 56–60.
- Кухлинг Х. Справочник по физике. М.: Мир, 1982. 520 с.
- Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. М.: Стройиздат, 1979. 344 с.
- Krichevsky A.P., Likhachev V.D., Popov V.V. Konstruktivnyy shlakopemzobeton dlya promyshlennogo stroitel'stva [Structural slag-pemzobeton for industrial construction]. Moscow: Stroyizdat. 1986. 84 p.
- Chernousov N.N., Pantelkin I.I. Zhelezobetonnye konstrukcii s ispol'zovaniem dispersno-armirovannogo shlakopemzobetona. Moscow: ACV. 1998. 230 p.
- Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sukhanov A.V. Study of the mechanics of fine-grained slag concrete in axial tension and compression. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 12, pp. 59–63. (In Russian).
- Bondarev B.A., Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sturova V.A. Investigation of the strength properties of steel fiber slag concrete in axial tension and compression, taking into account its age. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 20–24. (In Russian).
- Bondarev B.A., Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sturova V.A. Study of the deformation properties of steel fiber slag concrete under axial tension and compression, taking into account its age. *Vestnik PNRPU. Stroitelstvo i architektura*. 2017. Vol. 8. No. 1, pp. 18–31. (In Russian).
- Bondarev B.A., Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sturova V.A. Dynamic and static modulus of elasticity of steel fiber slag concrete (SFB). *Colloquium-journal*. 2019. No. 15–1 (39), pp. 4–6. (In Russian).
- Bondarev B.A., Chernousov R.N. Determination of the modulus of elasticity and tensile strength of steel fiber concrete in tension by the wedging method. *Nauchnyy vestnik VGASU. Stroitelstvo i architektura*. 2008. No. 3 (11), pp. 67–71. (In Russian).
- Patent RF 2402008. *Sposob ispytaniya dispersno-armirovannykh betonov na rastyazhenie* [Method for testing dispersed-reinforced concrete for tension]. Chernousov N.N., Chernousov R.N. Declared 07.12.2009. Publ. 20.10.2010. Bull. No. 29. (In Russian).
- Patent RF 2544299. *Sposob ispytaniya obraztsov stroitel'nykh materialov na rastyazhenie* [Method for testing samples of building materials for tension]. Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sukhanov A.V., Prokofiev A.N. Declared 23.07.2013. Publ. 20.03.2015. Bull. No. 8. (In Russian).
- Nikishkin V.A. Vliyanie struktury i plotnosti na prochnost' i deformativnost' plotnogo stroitel'nogo betona i ego sostavlyayushchikh [Influence of structure and density on the strength and deformability of dense building concrete and its components]. Ekaterinburg: USTU-UPI. 2009. 269 p.
- Savchenko N.L., Sablina Yu. T., Sevostyanova I.N., Buyakova S.P., Kulkov S.N. Deformation and destruction of porous brittle materials under various loading schemes. *Novosti universiteta. Physics*. 2015. Vol. 58. No. 11, pp. 56–60. (In Russian).
- Kuhling H. *Spravochnik po fizike* [Handbook of Physics]. Moscow: Mir. 1982. 520 p.
- Sheikin A.E., Chekhovskiy Yu.V., Brusser M.I. *Struktura i svoystva tsementnykh betonov* [Structure and properties of cement concretes]. Moscow: Stroyizdat. 1979. 344 p.

References

- Bondarenko V.M. Nekotorye voprosy nelineinoi teorii zhelezobetona [Some questions of the nonlinear theory of reinforced concrete]. Kharkov: KhSU. 1968. 324 p.

О.А. ПОВАРОВА, магистр (boliaa@mail.ru)

Череповецкий государственный университет (162602, г. Череповец, ул. Луначарского, 5)

Роль полифракционной шлаковой добавки в структуре мелкозернистого бетона

Представлены результаты исследований рационального состава мелкозернистого шлакобетона для производства железобетонных изделий методом безопалубочного формования. В работе проведены результаты экспериментальных исследований по применению отсева шлакового щебня в качестве минеральной тонкомолотой добавки и заполнителя в мелкозернистых конструктивных шлакобетонах. Установлен рациональный состав тонкомолотой добавки при совместном помоле гранулированного доменного шлака и отсева шлакового щебня. При введении шлаковой добавки наблюдается повышение активности вяжущего на 15–20%, теплопроводность с увеличением доли добавки уменьшается. Приведены составы мелкозернистого шлакобетона, рекомендованные для производства железобетонных изделий методом безопалубочного формования. Согласно результатам испытаний, расход цементного вяжущего на единицу прочности в рекомендуемых составах составляет на 40–45% меньше, чем в традиционных бетонах без тонкомолотой полифракционной шлаковой добавки. Практическая значимость результатов исследования позволит рационально использовать отсев шлакового щебня при производстве эффективных минеральных тонкомолотых шлаковых добавок и конструктивных мелкозернистых шлакобетонов, обладающих низкой теплопроводностью и удельным расходом цементного вяжущего.

Ключевые слова: отсев шлакового щебня, тонкомолотая добавка, мелкозернистый шлакобетон, прочность, теплопроводность, ресурсоэффективность.

Автор выражает благодарность д-ру техн. наук, почетному профессору ЧГУ В.С. Грызлову, имя которого присвоено кафедре строительства Череповецкого государственного университета.

Для цитирования: Поварова О.А. Роль полифракционной шлаковой добавки в структуре мелкозернистого бетона // *Строительные материалы*. 2022. № 5. С. 68–72. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-68-72>

O.A. POVAROVA, Senior Lecturer (boliaa@mail.ru)

Cherepovets State University (5, Lunacharsky Street, Cherepovets, 162602, Russian Federation)

The Role of a Polyfractive Slag Additive in the Structure of Fine-Grained Concrete

The results of studies of the rational composition of fine-grained slag concrete for the production of reinforced concrete products by the method of formless molding are presented. The paper presents the results of experimental studies on the use of screening of slag crushed stone as a mineral fine-ground additive and filler in fine-grained structural cinder blocks. The rational composition of the fine ground additive at the joint grinding of granulated blast furnace slag and the screening of slag rubble was established. When introducing a slag additive, there is an increase in the activity of the binder by 15–20%; the thermal conductivity decreases with an increase in the proportion of the additive. The compositions of fine-grained slag concrete recommended for the production of reinforced concrete products by the method of formless molding are given. According to the test results, the consumption of cement binder per strength unit in the recommended compositions is 40–45% less than in traditional concretes without fine ground polyfractive slag additive. The practical significance of the research results will make it possible to rationally use the screening of slag rubble in the production of effective mineral fine ground slag additives and structural fine-grained slag concrete with low thermal conductivity and specific consumption of cement binder.

Keywords: screening of slag rubble, fine ground additive, fine-grained slag concrete, strength, thermal conductivity, resource efficiency.

The author expresses gratitude to the Doctor of Technical Sciences, Honorary Professor of ChSU V.S. Gryzlov whose name was given to the Department of Construction of Cherepovets State University.

For citation: Povarova O.A. The role of a polyfractive slag additive in the structure of fine-grained concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 5, pp. 68–72. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-68-72>

Продукты переработки металлургических шлаков по-прежнему являются востребованными в качестве компонентов многих строительных материалов. Наиболее емко данные продукты нашли применение в производстве бетонов различного назначения, где они используются как заполнители, вяжущие, минеральные тонкомолотые добавки [1–4].

В настоящее время в России все больше предприятий по производству сборного железобетона начали переходить на безопалубочную технологию непрерывного формования преднапряженных же-

лезобетонных конструкций и изделий на длинномерных стендах. Достоинства данной технологии заключаются в отказе от применения дорогостоящих оборотных стальных форм, уменьшении удельных расходов цемента и металла, исключении пропарки изделий. Все это позволяет снизить себестоимость продукции [5–7].

Перспективным направлением при использовании данной технологии является замена традиционных тяжелых бетонов на мелкозернистые бетоны различного состава. В качестве мелкого заполните-

ля в таких бетонах могут применяться мелкофракционные отходы различных производств, в том числе доменные шлаки металлургической промышленности.

Фракционный состав и основные характеристики отсева шлакового щебня могут варьироваться в значительных пределах, так как они зависят от типа исходного сырья и применяемых в производстве технологий. Зерновой состав заполнителей определяют по результатам просеивания пробы через стандартный набор, включающий в себя сита с отверстиями 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм. После просеивания взвешивают остатки на каждом сите, %: частные (а_{2,5} – 20,18; а_{1,25} – 13,58; а_{0,63} – 20,64; а_{0,315} – 20,93; а_{0,16} – 14,45); полные (А_{2,5} – 20,18; А_{1,25} – 33,76; А_{0,63} – 54,40; А_{0,315} – 75,33; А_{0,16} – 89,78) – и определяют наибольшую и наименьшую крупность отсева шлакового щебня. Вычисляют модуль крупности $M_k=2,73$.

Минеральные добавки, получаемые из техногенных сырьевых материалов – отсева шлакового щебня и гранулированного доменного шлака, соответствуют следующим характеристикам: удельная поверхность 300–400 м²/кг; модуль основности 0,965; 0,99; модуль активности 0,32; 0,33; силикатный модуль 2,94; 2,97 соответственно. Они представляют собой порошки и отличаются от химических модификаторов тем, что не растворяются в воде, являясь тонкодисперсной составляющей твердой фазы бетона или раствора.

Актуальным вопросом, требующим дополнительных исследований, является применение в мелкозернистых бетонах отсева (фр. менее 5 мм) шлакового щебня, который пока не нашел широкого использования в строительной практике [8–10].

На Череповецком металлургическом комбинате накоплен значительный объем данного отсева, получаемого в процессе производства шлакового щебня и разделения его на фракции (5–20, 20–40, 40–70 и более). Примерный выход отсева составляет 0,2–0,3 м³ на 1 м³ щебня [11–12]. Использование отсева крайне ограничено из-за отсутствия сертификатов и технологических регламентов.

Цель исследования – создание ресурсоэффективного мелкозернистого шлакобетона на отсева шлакового щебня, обладающего универсальными теплозащитными и прочностными эксплуатационными характеристиками. Данный вид бетона предназначен для производства железобетонных изделий методом безопалубочного формования.

На первом этапе сделана оценка фракционного состава и физико-химических характеристик в сравнении с традиционно выпускаемым шлаковым щебнем и гранулированным доменным шлаком, которая показала, что данный материал соответствует требованиям ГОСТ 31424–2010 «Материалы строительные нерудные из отсева дробления плотных пород при производстве щебня. Технические условия» и может быть рекомендован для применения в бетонах.

Для разработки рекомендаций по использованию отсева в бетонах предлагается два направления:

1) в качестве минеральной тонкомолотой добавки как активного компонента, замещающего часть вяжущего;

2) в качестве заполнителя для мелкозернистых шлакобетонов.

При этом учитывался известный факт: шлакосодержащие вяжущие обладают меньшим коэффициентом теплопроводности, чем другие виды цементов [9].

Исследования минеральной тонкомолотой добавки из отсева шлакового щебня

С целью установления зависимости тонкости помола доменного шлака от времени помола (производительности лабораторной мельницы) проведены экспериментальные исследования. Для этого доменный шлак предварительно высушивали в сушильном шкафу и взвешивали на лабораторных весах. Гранулированный доменный шлак и шлаковый песок помоли отдельно в течение 6 ч с отключением мельницы каждые 90 мин для отбора проб (навески по 100 г). Тонкость помола каждой пробы определяли на приборе Товарова, тип Т-3, работающего по принципу воздухопроницаемости.

Удельная поверхность молотого шлака является основным параметром, который определяет строительные-технические свойства цементных растворов и бетонов. Одной из задач данных экспериментальных исследований предусматривалось определение оптимальной удельной поверхности шлака с точки зрения достижения высокой прочности шлакового цемента при минимальной затрате энергии на его измельчение. Полученные экспериментальные данные позволили установить следующую зависимость: при времени помола шлака 90, 180, 270, 360 мин соответственно повышается удельная поверхность гранулированного шлака – 210, 310, 408, 505 м²/кг и шлакового песка – 300, 397, 480, 570 м²/кг.

Известно [5], что активность минеральных добавок на основе доменных шлаков связана с минеральным и фазовым составами. Наибольшей активностью обладают шлаковые добавки, содержащие 35–45% кристаллической фазы.

В ходе исследования данной добавки установлены рациональные пределы доли добавки в вяжущем, при которых относительная активность шлакопортландцементного вяжущего увеличивалась на 15–20%, относительная теплопроводность уменьшалась на 25–35% в сравнении с исходным клинкерным вяжущим. Полученные результаты в определенной степени связаны с положительным влиянием дисперсности добавки. Наличие более грубых частичек способствовало повышению прочности вяжущего композита по принципу формирования структуры микробетона и снижению теплопроводности затвердевшего вяжущего, связанного с содержанием в нем увеличенного количества стеклообразной составляющей.

Оценка качества минеральной тонкомолотой добавки проводилась методом сравнения с добавкой, получаемой при помоле гранулированного доменного шлака. Экспериментальный анализ показал, что при помоле гранулированного шлака и отсева шлакового щебня до одинаковой удельной поверхности в лабораторной шаровой мельнице время помола последнего на 35–40% меньше, а следовательно, и меньше удельные энергетические затраты, которые увеличиваются за счет предварительной сушки гранулированного шлака.

Технология получения полифракционного шлакового вяжущего

Дисперсность шлаковой добавки влияет на физико-механические характеристики цементно-шлакового камня. Лучшие результаты показывают добавки с дисперсностью, отличающейся от дисперсности исходного портландцемента.

Однако компоненты комплексной шлаковой добавки монофракционные, а для проверки рабочей гипотезы необходимо изучить шлаковую добавку, состоящую из полифракционных компонентов, и на ее основе получить полифракционное шлаковое вяжущее (ПШВ). Полифракционное шлаковое вяжущее производили путем ввода полифракционной шлаковой добавки (ПШД) в цемент в отношении 1:1. В качестве исходного вяжущего применялся портландцемент производства ПАО «Мордовцемент» с удельной поверхностью 410 м²/кг.

Предварительно были исследованы две технологии получения полифракционного шлакового вяжущего:

- раздельный помол компонентов полифракционной шлаковой добавки с последующим вводом в цемент (состав 1);
- совместный помол компонентов полифракционной шлаковой добавки с последующим вводом в цемент (состав 2).

Общая черта данных технологий заключается в том, что добавки вводятся в уже готовый цемент. Нет необходимости размалывать добавки-наполнители вместе с клинкером. Наполнители должны иметь оптимальную дисперсность, отличную от дисперсности цемента, обеспечивающую улучшение свойств полученных композиционных материалов. Кроме того, отдельное измельчение наполнителей на месте их потребления освобождает транспорт от бесполезных перевозок их в составе вяжущего. Наполнители оптимальной дисперсности и активности, полученные на месте или вблизи потребителей, целесообразно вводить в бетонную смесь непосредственно при ее приготовлении на заводах по производству железобетонных изделий. Это позволит за счет оперативного управления количеством и дисперсностью наполнителей более эффективно использовать портландцемент.

Состав 1 получали путем раздельного помола в течение часа 5 кг гранулированного шлака и 5 кг

**Таблица 1
Table 1**

**Сравнение строительно-технических характеристик вяжущих
Comparison of construction and technical characteristics of binders**

Показатель	Бездобавочный	Состав 1	Состав 2
Удельная поверхность, г/см ²	4100	3350	3000
Нормальная густота цементного теста, %	27,75	27,25	27
Начало схватывания, мин	185	295	275
Конец схватывания, мин	230	350	315
Равномерность изменения объема, мм	1,5	0,9	1
Прочность при сжатии, МПа	45	28	21
Прочность при растяжении, МПа	10,5	6,3	5,7
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,527	0,446	0,458

шлакового песка. Удельная поверхность тонкомолотого гранулированного шлака составила 240 м²/кг, тонкомолотого шлакового песка 440 м²/кг. Затем полученные добавки смешивались в отношении 60:40% и вводились в цемент в отношении 1:1.

Состав 2 получали путем совместного помола в течение часа гранулированного доменного шлака и шлакового песка в отношении 60:40% общей массой 5 кг. Удельная поверхность шлаковой добавки составила 300 м²/кг. Затем полученная добавка смешивалась с цементом в отношении 1:1.

Полученные составы проверяли на соответствие требованиям ГОСТ 31108–2016 «Цементы общестроительные. Технические условия» и ГОСТ 30515–2013 «Цементы. Общие технические условия». Теплопроводность цементно-шлаковых вяжущих определяли на образцах-плитках размером 10×10×2 см из теста нормальной густоты с помощью прибора ИТП-МГ4 «100» (табл. 1).

Таким образом, замена половины цемента полифракционной шлаковой добавкой приводит к снижению прочности вяжущего при сжатии и растяжении на 37,8–53,3 и 40–45,7% соответственно. Более низкие прочностные показатели состава 2 по сравнению с составом 1 объясняются тем, что при совместном помоле компоненты шлаковой добавки имеют меньшую дисперсность по сравнению с этими же компонентами при раздельном помоле.

Ввод ПШД приводит к уменьшению теплопроводности цементно-шлакового камня на 13,1–15,4%. Более высокая теплопроводность состава 2 также объясняется меньшей дисперсностью компонентов шлаковой добавки.

Полифракционное шлаковое вяжущее требует меньше воды для получения теста нормальной густоты по сравнению с бездобавочным цементом.

Ввод ПШД замедляет сроки схватывания вяжущего. В большей степени эти сроки увеличиваются

Таблица 2
Table 2Свойства полифракционного шлакового вяжущего
Properties of a polyfractive slag binder

Доля ПШД в вяжущем, %	В/В	Прочность при сжатии, МПа	Плотность цементно-шлакового камня, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·К)
0	0,286	75,4	2103	0,493
10	0,28	71,7	2062	0,427
30	0,272	48,1	2043	0,419
50	0,242	62,6	2095	0,39
70	0,228	50	2032	0,377
90	0,228	26	1962	0,301

Таблица 3
Table 3Оценка эффективности ПШД
Evaluation of the effectiveness of PSA
(polyfractive slag additive)

Доля ПШД в вяжущем, %	Критерий эффективности ПШД Э _д , %	Заключение об эффективности ПШД
10	92,3	Высокоэффективная
30	14,9	Низкоэффективная
50	69,3	Среднеэффективная
70	23,8	Низкоэффективная
90	-185	Неэффективная

у состава 1. Результаты определения равномерности изменения объема соответствуют требованиям ГОСТа.

В условиях промышленного производства железобетонных конструкций и изделий немаловажным фактором для изготовителя являются энергозатраты на помол минеральных добавок. Полифракционную шлаковую добавку можно получить либо отдельным помолом исходных компонентов с последующим их смешиванием и вводом в цемент, либо совместным помолом компонентов в определенной пропорции с последующим вводом в цемент. Несмотря на то что вяжущее, полученное по первой технологии, обладает улучшенными прочностными и теплозащитными характеристиками по сравнению с вяжущим по второй технологии, для производителя предпочтительнее последнее, так как его изготовление менее энергозатратно.

Физико-механические характеристики полифракционного шлакового вяжущего

Гранулированный шлак в количестве 60% от общего объема всей добавки смешивали со шлаковым песком в количестве 40% и измельчали в лабораторной мельнице в течение 90 мин до общей удельной поверхности 300 м²/кг. Полученную полифракционную шлаковую добавку вводили в цемент в количестве 10, 30, 50, 70 и 90% от массы вяжущего.

Оптимальное содержание полифракционной шлаковой добавки находили путем определения прочности при сжатии образцов-кубов размером 5×5×5 см и теплопроводности образцов-плиток размером 10×10×2 см цементно-шлакового камня в зависимости от доли вводимой добавки. Образцы изготавливали из теста нормальной густоты согласно ГОСТ 30744–2001 «Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка» и испытывали в возрасте 28 сут твердения в нормальных условиях.

Результаты представленных в табл. 2 данных подтверждают, что при введении 50% ПШД в полученном цементном камне формируются дополнительные центры кристаллизации гидроксида кальция, за

счет чего прочность цементного камня уменьшается всего на 15–17%.

Анализ полученных результатов показывает, что высокоэффективным является введение 10% ПШД и средний уровень эффективности достигается при доле ПШД 50%. Эффективность введения минеральной добавки оценивалась с помощью критерия Э_ф (табл. 3).

Ввод полифракционной добавки положительно влияет на теплопроводность цементно-шлакового камня, что связано с уменьшением его плотности. Теплопроводность камня уменьшилась на 13,4–38,9%.

Далее определялась активность вяжущего с оптимальным содержанием ПШД согласно ГОСТ 30744–2001. Также была рассмотрена возможность модификации цемента однокомпонентной добавкой молотого гранулированного шлака с удельной поверхностью 4500 г/см² и молотого шлакового песка с удельной поверхностью 5100 г/см². Результаты испытаний подтверждают, что ввод полифракционной или однокомпонентной добавки приводит к снижению прочности. Наибольшая прочность наблюдается у состава с тонкомолотым гранулированным шлаком. Составы с ПШД и тонкомолотым шлаковым песком дают практически одинаковые результаты. Однако на получение ПШД требуется меньше времени и, следовательно, энергозатрат по сравнению с однокомпонентными добавками. Так, на получение ПШД было потрачено 1,5 ч, а на помол каждой однокомпонентной добавки – 5 ч.

Замена 50% цемента тонкомолотым гранулированным шлаком снижает прочность на 34,1–44,6%; при использовании тонкомолотого шлакового песка или ПШД прочность в среднем уменьшается на 65%.

Несмотря на то что вяжущее с ПШД обладает низкой активностью, оно будет применяться для изготовления мелкозернистого шлакобетона, так как технология получения данного вяжущего менее энергозатратна по сравнению с однокомпонентными добавками. Представленными результатами установлено, что шлаковый песок отвечает требованиям

ГОСТА и может применяться в качестве мелкого заполнителя бетона, а в тонкоизмельченном виде — в качестве минеральной инертной добавки.

Дальнейшая работа будет направлена на получение рационального состава ресурсоэффективного мелкозернистого шлакобетона на шлаковом песке.

Список литературы

1. Баженов Ю.М., Чернышов Е.М., Коротких Д.Н. Конструирование структур современных бетонов: определяющие принципы и технологические платформы // *Строительные материалы*. 2014. № 3. С. 6–14.
2. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н., Школьник Я.Ш. Состояние и перспективы использования побочных продуктов техногенных образований в строительной индустрии // *Экология и промышленность России*. 2012. № 10. С. 50–55.
3. Ярмаковский В.Н., Семченков А.С., Козелков М.М., Шевцов Д.А. О ресурсосбережении при использовании инновационных технологий в конструктивных системах зданий в процессе создания и возведения // *Вестник МГСУ*. 2011. № 3. Т. 1. С. 209–215.
4. Большаков В.И., Елисеева М.А., Щербак С.А. Контактная прочность механоактивированных мелкозернистых бетонов из доменных гранулированных шлаков // *Наука и прогресс транспорту*. 2014. № 5 (53). С. 138–149.
5. Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Суханов А.В. Исследование механики работы мелкозернистого шлакобетона при осевом растяжении и сжатии // *Строительные материалы*. 2014. № 12. С. 59–64.
6. Панова В.Ф., Панов С.А. Регулирование зернового состава декоративного шлакобетона // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2007. № 8. С. 24–29.
7. Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Суханов А.В., Бондарев Б.А. Влияние возраста мелкозернистого шлакобетона на его прочностные характеристики // *Современное строительство и архитектура*. 2015. № 1 (37). С. 41–50.
8. Иванов И.А. Легкие бетоны на искусственных пористых заполнителях. М.: Стройиздат, 1993. 182 с.
9. Грызлов В.С. Формирование структуры шлакобетонов. Lambert Academic Publishing Saarbuckten Deutschland, 2012. 347 p.
10. Грызлов В.С. Шлакобетоны в крупнопанельном домостроении // *Строительные материалы*. 2011. № 3. С. 40–41.
11. Грызлов В.С., Завьялова Д.В. Отсев дробления шлакового щебня как эффективный компонент бетона // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 40–45.
12. Гатылюк А.Г., Грызлов В.С. Определение оптимального состава мелкозернистого шлакобетона на отходах металлургического производства // *Вестник Череповецкого государственного университета*. 2013. № 2 (47). Т. 1. С. 9–11.

References

1. Bazhenov Yu.M., Chernyshov E.M., Korotkikh D.N. Construction of structures of modern concretes: defining principles and technological platforms. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 3, pp. 6–14. (In Russian).
2. Karpenko N.I., Yarmakovskiy V.N., Shkolnik Y.Sh. The state and prospects of using byproducts of man-made formations in the construction industry. *Ecologiya i promyshlennost Rossii*. 2012. No. 10, pp. 50–55. (In Russian).
3. Yarmakovskiy V.N., Semchenkov A.S., Kozelkov M.M., Shevtsov D.A. On resource saving when using innovative technologies in the design systems of buildings in the process of creation and construction. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 3. Vol. 1, pp. 209–215. (In Russian).
4. Bolshakov V.I., Eliseeva M.A., Shcherbak S.A. Contact strength of mechanically activated fine-grained concrete from blast furnace granulated slags. *Nauka i progress transportu*. 2014. No. 5 (53), pp. 138–149. (In Russian).
5. Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sukhanov A.V. Study of the mechanics of fine-grained slag concrete in axial tension and compression. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 12, pp. 59–63. (In Russian).
6. Panova V.F., Panov S.A. Regulation of grain composition of decorative slag concrete. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2007. No. 8, pp. 24–29. (In Russian).
7. Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sukhanov A.V., Bondarev B.A. The influence of the age of fine-grained slagging on its strength characteristics. *Sovremennoe stroitelstvo i architectura*. 2015. No. 1 (37), pp. 41–50. (In Russian).
8. Ivanov I.A. Legkie betony na iskusstvennykh poristyykh zapolnitelyakh [Light concretes on artificial porous aggregates]. Moscow: Stroyizdat. 1993. 182 p.
9. Gryzlov V.S. Formirovanie struktury shlacobetonov [Formation of the structure of slag concrete]. Lambert Academic Publishing Saarbuckten Deutschland. 2012. 347 p.
10. Gryzlov V.S. Slag concrete in large-panel house building. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 3, pp. 40–41. (In Russian).
11. Gryzlov V.S. Zavialova D.V. Screening of Crushing of Broken Slag as an Efficient Component of Concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 40–43. (In Russian).
12. Gatylyuk A.G., Gryzlov V.S. Determining the optimal composition of fine-grained slag concrete on waste from metallurgical production. *Vestnik Cherepovetskogo Gosudarstvennogo Universiteta*. 2013. Vol. 1. No. 2 (47), pp. 9–11. (In Russian).

УДК 666.973.2:620.3

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-73-76>

С.Н. СЕМЁНОВА, инженер (аспирант) (semionovasvetlana@mail.ru),
 Г.И. ЯКОВЛЕВ, д-р техн. наук (gyakov@istu.ru), А.Ф. ГОРДИНА, канд. техн. наук (afspirit@rambler.ru),
 Н.В. КУЗЬМИНА, инженер (oosila22a@mail.ru), И.С. ПОЛЯНСКИХ, канд. техн. наук (irina_maeva@mail.ru)
 Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова (426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7)

Свойства цементных матриц, модифицированных никель/углеродным нанокompозитом

Исследованы модифицированные дисперсиями металлов, интеркалированных в углеродную структуру образцы силикатных композиций. Для создания образцов разработана технология функционализации металлсодержащей углеродной дисперсии и введения ее в силикатный композит. Для функционализации дисперсий использовался пластификатор С-3. Исследованы физико-механические и структурные свойства разработанного композита. Проведены механические испытания образцов при изгибе и сжатии и исследование структуры материала методами инфракрасной спектроскопии, дифференциально-термического и энергодисперсионного анализа. Установлено, что повышение физико-механических свойств модифицированного материала обусловлено взаимодействием металл-углеродных дисперсий с цементной матрицей в формирующейся структуре цементного камня.

Ключевые слова: силикатные композиты, модификация вяжущих, металл-углеродные нанокompозиты, прочность, инфракрасная спектроскопия, дифференциально-термический анализ, рентгеновский микроанализ.

Для цитирования: Семёнова С.Н., Яковлев Г.И., Гордина А.Ф., Кузьмина Н.В., Полянских И.С. Свойства цементных матриц, модифицированных никель/углеродным нанокompозитом // *Строительные материалы*. 2022. № 5. С. 73–76.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-73-76>

S.N. SEMYONOVA, Engineer (post-graduate student) (semionovasvetlana@mail.ru), G.I. YAKOVLEV, Doctor of Sciences (Engineering) (gyakov@istu.ru), A.F. GORDINA, Candidate of Sciences (Engineering) (afspirit@rambler.ru), N.V. KUZMINA, Engineer (oosila22a@mail.ru), I.S. POLYANSKIKH, Candidate of Sciences (Engineering) (irina_maeva@mail.ru)
 Kalashnikov Izhevsk State Technical University (7, Studencheskaya Street, Izhevsk, 426069, Russian Federation)

Properties of Cement Matrices Modified with Nickel-Carbon Nanocomposite

Samples of silicate compositions modified by dispersions of metals intercalated into a carbon structure have been studied. To create samples, a technology has been developed for the functionalization of metal-containing carbon dispersion and its introduction into a silicate composite. Plasticizer C-3 was used to functionalize the dispersions. The physico-mechanical and structural properties of the studied composite are investigated. Mechanical tests for bending and compression of samples and the study of the structure of the material by infrared spectroscopy, differential thermal analysis and energy dispersion analysis were carried out. It is established that the increase in the physico-mechanical properties of the modified material is due to the interaction of metal-carbon dispersions with the cement matrix in the emerging structure of cement stone.

Keywords: silicate composites, metal/carbon nanocomposites, strength, infrared spectroscopy, differential thermal analysis, X-ray microanalysis.

For citation: Semenova S.N., Yakovlev G.I., Gordina A.F., Kuzmina N.V., Polyanskikh I.S. Properties of cement matrices modified with nickel-carbon nanocomposite. *Stroitel'nyye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 5, pp. 73–76. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-73-76>

Актуальной задачей в настоящее время является получение функциональных свойств для традиционных строительных материалов на основе цемента с помощью специальных добавок, которые влияют на структурообразование цементного камня. В данной области материаловедения имеется большое количество исследований с многообещающими результатами [1–4]. Новые классы добавок к бетонам затрагивают более глубокие механизмы структурообразования, это так называемые нанодобавки, применение которых должно быть осознанным и целенаправленным, т. е. научно обоснованным [5]. Для этого необходимо исследование процесса структурообразования цементной матрицы в присутствии нанодобавок. К такому типу добавок относятся металл-углеродные нанокompозиты (НК), представляющие собой наночастицы металлов, таких как никель, железо, медь, внедренные в углеродную пленочную структуру [6, 7]. В работе представлены результаты исследования по модификации цементной матрицы никель/углеродными дис-

персиями. Имеющие исследования показывают, что металл-углеродные НК могут оказывать структурирующее влияние на вяжущую матрицу через формирование более плотной упаковки; дисперсии выступают в качестве центров кристаллизации при гидратации цемента и формируют химические связи с оксидом кремния в составе силикатного композита [8, 9].

Методы исследования и материалы

Для изготовления испытуемых образцов использовался портландцемент марки ЦЕМ I 32,5 Н, стандартный полифракционный кварцевый песок, соответствующий ГОСТ 6139–2020 «Песок для испытательного цемента. Технические условия». При изготовлении суспензии из никель/углеродной дисперсии в качестве вспомогательной добавки использовался суперпластификатор С-3 на основе натриевых солей продуктов конденсации нафталинсульфокислоты. Подбор водоцементного отношения в модифицированных образцах с учетом добавления суперпласти-

фикатора производился по подвижности цементного раствора с использованием встряхивающего столика и формы-конуса, при $V/\Omega=0,4$ расплыв конуса составил 113 мм.

Для модифицирования силикатных композиций использовался никель/углеродный наноккомпозит (Ni/C НК), разработанный в ЦБХТ АО «ИЭМЗ «Купол». Металл-углеродные наноккомпозиты представляют собой наноструктуру, содержащую частицы металла, стабилизированные в углеродной оболочке и ассоциированные с ней. Углеродная оболочка может быть представлена в виде пленочных структур или волокон [10]. В результате стабилизации частиц металла с углеродной фазой химически активные частицы металла стабильны на воздухе и при нагреве, так как образуется прочный комплекс наночастиц металла с углеродной структурой [11]. Особенностью Ni/C НК как продуктов низкотемпературного синтеза является наличие дефектов и функциональных групп в углеродных оболочках [12].

Для определения структуры, химического и минералогического состава композитов проведены ИК-спектральный, дифференциально-термический, рентгенофазовый анализ и рентгеновская микроскопия.

Результаты исследований и их интерпретация

Для подбора эффективного соотношения цемента и Ni/C проведены испытания модифицированных образцов на прочность. Наблюдается рост прочности при концентрации наноккомпозита до 0,03% от массы портландцемента. При дальнейшем увеличении количества добавки (0,5–4% от массы цемента) прочность при сжатии снижается (рис. 1, а), в структуре модифицированных образцов происходит заметный рост продольных трещин в процессе усадки материала. Стоит отметить, что прочность при изгибе, напротив, растет для образцов, содержащих более 0,5% НК (рис. 1, б).

Такой противоположный эффект можно объяснить тем, что наноккомпозиты, выступая в качестве центров кристаллизации, способствуют росту разноразмерных кристаллогидратов. Разноразмерность кристаллов в сростке обуславливает различия свободных деформаций

отдельных элементов сростка, а пространственная связность элементов жесткими фазовыми контактами, исключая свободу этих деформаций, приведет на уровне кристаллогидратного сростка к развитию дополнительных внутрискруктурных напряжений, которые проявляются в виде продольных усадочных трещин [13].

ИК-спектроскопические исследования проводились на ИК-Фурье-спектрометре IRAfinnity-1 (Shimadzu) в области частот $400-4000\text{ см}^{-1}$ для контрольного и опытного образцов в возрасте 28 сут. Контрольный образец выполнен с добавлением водного раствора суперпластификатора С-3, который также используется в дисперсии из Ni/C перед введением в цементную матрицу. Опытный образец содержит 0,02% Ni/C от массы портландцемента, данное количество добавки вызвало наибольший рост прочности в цементном камне – на 69% [14]. Предварительно образцы силикатных композиций подвергались измельчению в ультрадисперсный порошок.

ИК-спектр с результатами анализа представлен на рис. 2. В широкой полосе $3350-3650\text{ см}^{-1}$, соответствующей валентным колебаниям –ОН, поглощение модифицированного образца интенсивнее, что свидетельствует о более высоком содержании гидратированных соединений. Исходя из этого стоит предположить, что происходит связывание большего количества воды в структуре опытного образца. Полоса $890-1090\text{ см}^{-1}$ соответствует связям Si–O–Si; более интенсивное поглощение для модифицированного образца может свидетельствовать о связи Si–C, возникающей между Ni/C и атомами кремния [4]. Можно сделать вывод, что добавка Ni/C способствует ускоренной и более эффективной гидратации цемента и возникновению химической связи между гидросиликатами кальция и Ni/C.

Дифференциально-термический анализ проводился на дериватографе TGA/DSC-1 Starsystem Mrttler Toledo в интервале температуры от 60 до 1100°C со скоростью нагрева $30^\circ\text{C}/\text{мин}$. На рис. 3 представлена совмещенная дериватограмма контрольного и модифицированного образцов. При сравнительном анализе двух кривых можно отметить,

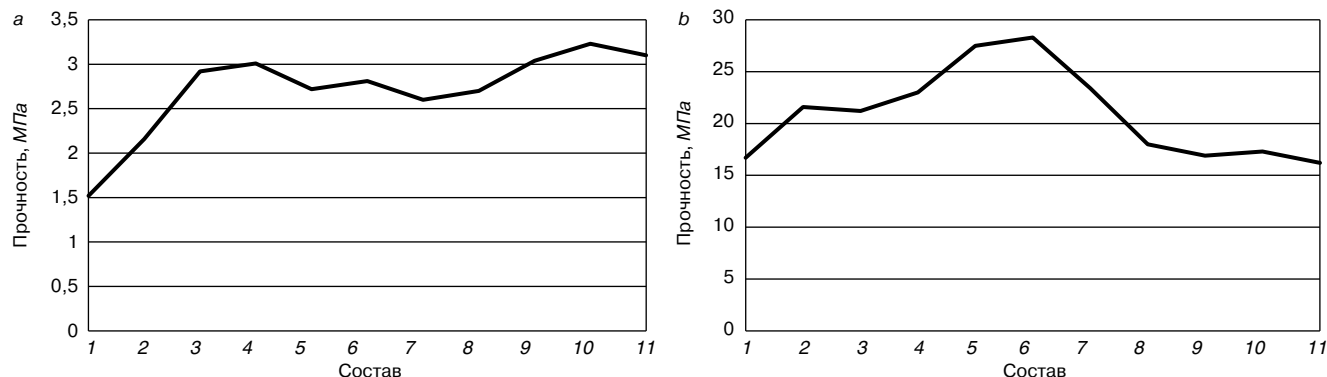


Рис. 1. Кривые результатов испытания прочности образцов: а – прочность при изгибе; б – прочность при сжатии; 1 – контрольный образец; 2 – контрольный образец + пластификатор С-3; 3 – 0,001% Ni/C; 4 – 0,005% Ni/C; 5 – 0,01% Ni/C; 6 – 0,02% Ni/C; 7 – 0,03% Ni/C; 8 – 0,5% Ni/C; 9 – 1% Ni/C; 10 – 3% Ni/C; 11 – 4% Ni/C

Fig. 1. Curves of the results of testing the strength of samples: а – bending strength; б – compressive strength; 1 – control sample; 2 – control sample + C-3 plasticizer; 3 – 0.001% Ni/C; 4 – 0.005% Ni/C; 5 – 0.01% Ni/C; 6 – 0.02% Ni/C; 7 – 0.03% Ni/C; 8 – 0.5% Ni/C; 9 – 1% Ni/C; 10 – 3% Ni/C; 11 – 4% Ni/C

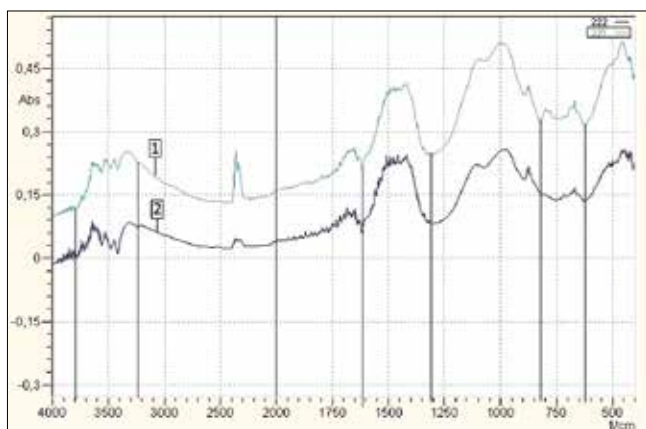


Рис. 2. ИК-спектральный анализ: 1 – контрольный образец; 2 – образец с 0,02% Ni/C НК

Fig. 2. IR spectral analysis: 1 – control sample; 2 – sample with 0.02% Ni/C nanocomposite

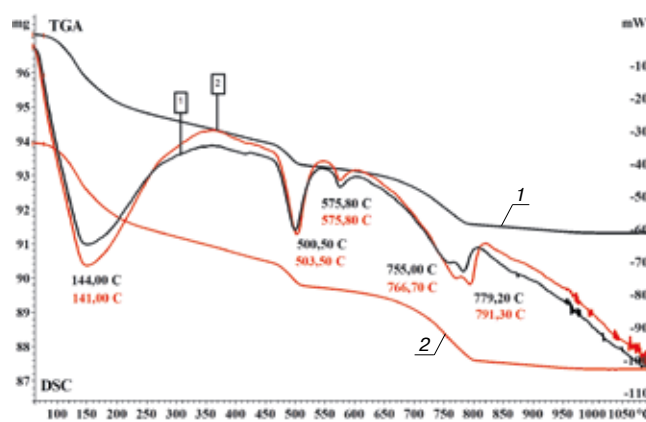


Рис. 3. Дериватограмма: 1 – контрольный образец; 2 – образец с 0,02% Ni/C НК

Fig. 3. Derivatogram: 1 – control sample; 2 – sample with 0.02% Ni/C nanocomposite

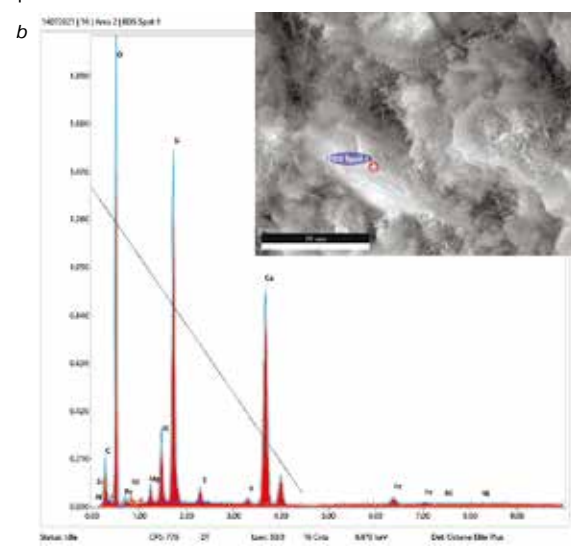
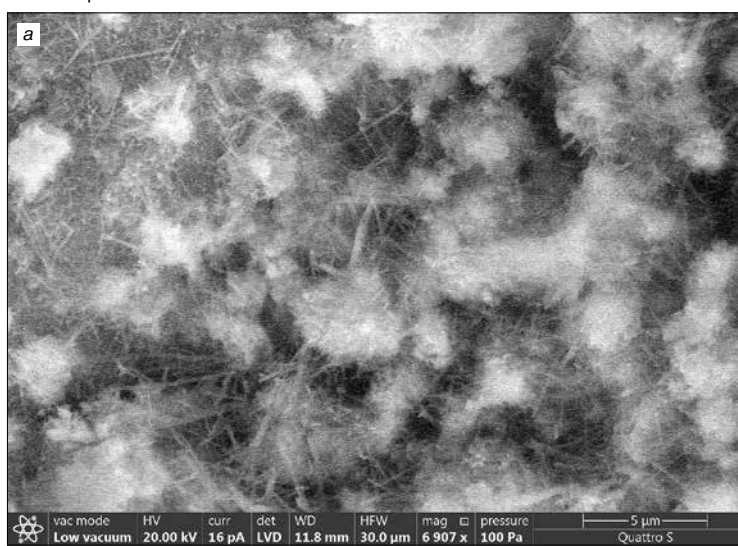


Рис. 4. Микроструктура цементной матрицы, модифицированной Ni/C НК (a); рентгеновский микроанализ новообразований в цементной матрице, модифицированной Ni/C НК (b)

Fig. 4. Microstructure of a cement matrix modified with Ni/C NC (a), X-ray microanalysis of neoplasms in a cement matrix modified with Ni/C NC (b)

что возникающие эндотермические эффекты имеют сходный характер и проявляются в виде пяти пиков.

Наблюдается сдвиг эндотермических эффектов в область более высокой температуры: так, пики для контрольного образца 755 и 779,2°C, в то же время для опытного образца 766,7 и 791,3°C соответственно. Повышение температуры дегидратации связано с образованием более сильных связей с водой в кристаллогидратах и формированием вторичных низкоосновных гидросиликатов кальция, которые также были установлены при проведении рентгеновского микроанализа [1].

На рис. 4, a представлена микроструктура цементного камня модифицированного Ni/C НК в количестве 0,02%. Наблюдаются скопления кристаллических новообразований, предположительно центрами которых являются частицы Ni/C в составе никель/углеродной дисперсии.

Список литературы

1. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in Concrete – A Review. *Construction and Building Materials*. 2010. Vol. 24, pp. 2060–2071. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.03.014

С целью исследования состава новообразований проведен рентгеновский микроанализ (энергодисперсионный анализ). На спектре (рис. 4, b) отмечено наличие атомов кальция Ca, кремния Si, кислорода O, которые формируют тоберморитовые гели. Также отмечено присутствие алюминия Al и серы S, это связано с формированием на начальных этапах гидратации портландцемента гидросульфалоуминатов кальция. Наличие атомов углерода C и никеля Ni связано с присутствием в структуре новообразований никель/углеродных нанокмпозитов.

Таким образом, можно объяснить прирост прочности в модифицированном образце и возможное проявление электропроводящих свойств, описанных в работе [14], за счет формирования каркаса цементной матрицы с заполнением кристаллами гидросиликатов кальция тоберморитового ряда.

References

1. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in Concrete – A Review. *Construction and Building Materials*. 2010. Vol. 24, pp. 2060–2071. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.03.014

2. Niewiadomski P. Short overview of the effects of nanoparticles on mechanical properties of concrete. *Key Engineering Materials*. 2015. Vol. 662, pp. 257–260. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.662.257
3. Chung D. Materials for electromagnetic interference shielding. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2000. Vol. 9, pp. 350–354. DOI: 10.1361/105994900770346042
4. Li Z., Ding S., Yu X., B. Han, J. Ou. Multifunctional cementitious composites modified with nano titanium dioxide: a review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2018. Vol. 111, pp. 115–137. DOI:10.1016/j.compositesa.2018.05.019
5. Baránek Š., Černý V., Yakovlev G., Drochytka R. Silicate conductive composites with graphite-based fillers. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2021. 1209. DOI: 10.1088/1757-899X/1209/1/012035
6. Коротких Д.Н., Артамонова О.В., Чернышов Е.М. О требованиях к наномодифицирующим добавкам для высокопрочных цементных бетонов // *Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал*. 2009. Т. 1. № 2. С. 42–49. http://www.nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild_2_2009_RUS.pdf
7. Караваева Н.М., Першин Ю.В., Кодолов В.И. Свойства и высокая реакционная способность металл/углеродных нанокompозитов // *Вестник Казанского технологического университета*. 2017. № 19. С. 54–56
8. Ахметшина Л.Ф., Кодолов В.И., Терешкин И.П., Коротин А.И. Влияние углеродных металлсодержащих наноструктур на прочностные свойства бетонных композитов // *Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал*. 2010. № 6. С. 35–46. http://www.nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild_6_2010.pdf
9. Копылова А.А., Кодолов В.И. Исследование взаимодействия медь/углеродного нанокompозита с атомами кремния в составе кремнийсодержащих соединений // *Химическая физика и мезоскопия*. 2014. № 4. С. 556–560.
10. Кодолов В.И., Тринева В.В. Перспективы развития направления самоорганизации наносистем в полимерных матрицах // *Химическая физика и мезоскопия*. 2011. Т. 13. № 3. С. 363–375.
11. Кодолов В.И., Тринева В.В., Копылова А.А. Механохимическая модификация металл/углеродных нанокompозитов // *Химическая физика и мезоскопия*. 2017. Т. 19. № 4. С. 569–580.
12. Хохряков Н.В. Квантово-химические расчеты металл-углеродных нанокompозитов // *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. № 3 (59). С. 63–70.
13. Бабков В.В., Мохов В.Н., Капитонов С.М., Комохов П.Г. Структурообразование и разрушение цементных бетонов. Уфа: Уфимский полиграфкомбинат, 2002. 371 с.
14. Яковлев Г.И., Черни В., Пудов И.А., Полянских И.С., Саидова З.С., Бегунова Е.В., Семёнова С.Н. Свойства цементных матриц с повышенной электропроводностью // *Строительные материалы*. 2022. № 1–2. С. 11–20. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-799-1-2-11-20>
2. Niewiadomski P. Short overview of the effects of nanoparticles on mechanical properties of concrete. *Key Engineering Materials*. 2015. Vol. 662, pp. 257–260. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.662.257
3. Chung D. Materials for electromagnetic interference shielding. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2000. Vol. 9, pp. 350–354. DOI: 10.1361/105994900770346042
4. Li Z., Ding S., Yu X., B. Han, J. Ou. Multifunctional cementitious composites modified with nano titanium dioxide: a review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2018. Vol. 111, pp. 115–137. DOI:10.1016/j.compositesa.2018.05.019
5. Baránek Š., Černý V., Yakovlev G., Drochytka R. Silicate conductive composites with graphite-based fillers. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2021. 1209. DOI: 10.1088/1757-899X/1209/1/012035
6. Korotkih D.N., Artamonova O.V., Chernyshov E.M. On the requirements for nano-modifying additives for high-strength cement concrete. *Nanotekhnologii v stroitel'stve*. 2009. Vol. 1. No. 2, pp. 42–49. http://www.nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild_2_2009_RUS.pdf (Date of access 29.04.2022). (In Russian).
7. Karavaeva N.M., Pershin YU.V., Kodolov V.I. Properties and high reactivity of metal/carbon nanocomposites. *Vestnik of Kazan Technological University*. 2017. No. 19, pp. 54–56. (In Russian).
8. Ahmetshina L.F., Kodolov V.I., Tereshkin I.P., Korotin A.I. Influence of carbon metal-containing nanostructures on the strength properties of concrete composites. *Nanotekhnologii v stroitel'stve*. 2010. No. 6, pp. 35–46. http://www.nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild_6_2010.pdf (Date of access 29.04.2022). (In Russian).
9. Kopylova A.A., Kodolov V.I. Study of the interaction of a copper/carbon nanocomposite with silicon atoms in the composition of silicon-containing compounds. *Himicheskaya fizika i mezoskopiya*. 2014. No. 4, pp. 556–560. (In Russian).
10. Kodolov V.I., Trineeva V.V. Prospects for the development of the direction of self-organization of nanosystems in polymer matrices. *Himicheskaya fizika i mezoskopiya*. 2011. Vol. 13. No. 3, pp. 363–375. (In Russian).
11. Kodolov V.I., Trineeva V.V., Kopylova A.A. Mechanochemical modification of metal/carbon nanocomposites. *Himicheskaya fizika i mezoskopiya*. 2017. Vol. 19. No. 4, pp. 569–580. (In Russian).
12. Hohryakov N.V. Quantum-chemical calculations of metal-carbon nanocomposites. *Vestnik of the Izhevsk State Agricultural Academy*. 2019. No. 3 (59), pp. 63–70. (In Russian).
13. Babkov V.V., Mohov V.N., Kapitonov S.M., Komohov P.G. *Strukturoobrazovanie i razrushenie cementnyh betonov* [Structure formation and destruction of cement concretes]. Ufa: Ufimskij poligrafkombinat. 2002. 371 p.
14. Yakovlev G.I., Černý Vit, Pudov I.A., Polyanskikh I.S., Saidova Z.S., Begunova E.V., Semenova S.N. Properties of cement matrices with increased electrical conductivity. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 1–2, pp. 11–20. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-799-1-2-11-20>

УДК 621.785–97

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-77-82>

Е.Г. МАЛЯВИНА¹, канд. техн. наук, профессор (emal@list.ru),
 М.И. УРЯДОВ¹, магистрант (uryadovmaxim@yandex.ru);
 А.Е. ЕЛОХОВ², директор (info@passivrus.ru)

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

² ООО «Институт пассивного дома» (117405, г. Москва, Кирпичные Выемки, 2 к. 1)

Расчет температурной обстановки, формирующейся в процессе лучисто-конвективного теплообмена в помещении здания с усиленной тепловой защитой

В заданных пределах требуется поддерживать температуру воздуха и результирующую температуру на границе его обслуживаемой зоны. Результирующая температура является локальным показателем, так как включает в себя радиационную температуру, в основном зависящую от места положения и температуры поверхностей, обращенных в помещение. Статья посвящена отработке методики расчета указанных показателей в расчетный холодный зимний период по экспериментальным данным, полученным при более теплой погоде. В статье приведены результаты замеров температуры воздуха; результирующей и радиационной температуры при температуре наружного воздуха -7°C ; значения радиационной температуры, полученные путем расчетной имитации замеров шаровым термометром, и прогнозные значения указанных параметров в расчетных зимних условиях.

Ключевые слова: шаровой термометр, граница обслуживаемой зоны помещения, радиационная температура, натурный эксперимент, математическое моделирование замера радиационной температуры шаровым термометром.

Для цитирования: Малявина Е.Г., Урядов М.И., Елохов А.Е. Расчет температурной обстановки, формирующейся в процессе лучисто-конвективного теплообмена в помещении здания с усиленной тепловой защитой // *Строительные материалы*. 2022. № 5. С. 77–82. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-77-82>

E.G. MALYAVINA¹, Candidate of Sciences (Engineering), Professor, (emal@list.ru),
 M.I. URYADOV¹, Master's Degree Student (Engineering) (uryadovmaxim@yandex.ru);
 A.E. ELOHOV², Director (info@passivrus.ru)

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering (26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation)

² «Passive house institute Russia» (building 2/1, Kirpichnye vyemki Street, Moscow, 117405, Russian Federation)

Calculation of Thermal Conditions Generated During the Radiant-Convective Heat Exchange Process in a Room of a Building with Enhanced Thermal Protection

Within the regulatory limits, the standards require maintaining the air temperature and the resulting temperature at the border of its serviced area. The resulting temperature is a local indicator, since it includes the radiation temperature, which mainly depends on the location and temperature of the surfaces facing the premises. The article is devoted to the development of a methodology for calculating these indicators in the estimated cold winter period according to experimental data obtained during warmer weather. The article presents the results of measurements of air temperature, the resulting and radiation temperature at an outdoor temperature of -7°C , the values of radiation temperature obtained by calculation simulation of measurements with a globe thermometer and the predicted values of these parameters in the design winter conditions.

Keywords: globe thermometer, boundary of the serviced area of the premises, radiation temperature, full-scale experiment, mathematical simulation of radiation temperature measurement by globe thermometer.

For citation: Malyavina E.G., Uryadov M.I., Elohov A.E. Calculation of thermal conditions generated during the radiant-convective heat exchange process in a room of a building with enhanced thermal protection. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 5, pp. 77–82. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-77-82>

Поддержанию заданных параметров микроклимата во всем мире придается большое значение [1–4]. Большинство авторов, пишущих о различных аспектах обеспечения требуемого микроклимата помещений, справедливо связывают этот процесс с энергосбережением [5]. Внимание исследователей направлено на здания различного функционального назначения: медицинского [6], архивного [7], храмового [8, 9] и др. Обеспечение различных параметров микроклимата рассматривается под различными углами зрения, от создания комфортных условий для людей до сохранности предметов, которые требуют различных условий хранения [10, 11].

Проблема поддержания комфортной тепловой обстановки в зданиях связана с необходимостью до-

стижения распределения температуры воздуха и результирующей температуры помещения, а также перепадами значений этой температуры в различных точках обслуживаемой зоны помещения в оптимальных или допустимых пределах. Все параметры микроклимата помещений требуется измерять в центре помещения и на границе обслуживаемой зоны. В ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» (далее ГОСТ) выдвигается дополнительное требование по поддержанию в нормативных пределах локальной асимметрии результирующей температуры.

Результирующая температура помещения – это комплексный показатель локальных радиационной температуры и температуры воздуха помещения.

Причем при подвижности воздуха 0,2 м/с и меньше результирующая температура равна полусумме указанных составляющих. Локальная асимметрия результирующей температуры — это разность результирующих температур в точке помещения, определенных шаровым термометром для двух противоположных направлений.

Кроме того, необходимо обеспечить температуру внутренних поверхностей ограждающих конструкций, руководствуясь требованиями СП 50.13330.2012 с Изменениями № 1 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003», которые формируют радиационную температуру в каждой точке помещения, а следовательно, и результирующую.

Методы

По ГОСТу измерение результирующей температуры необходимо выполнять шаровым термометром, применение которого возможно в комплекте с универсальным измерителем параметров микроклимата Метеоскоп-М (Измеритель параметров микроклимата Метеоскоп-М. Руководство по эксплуатации. 2020. БВЕК.431110.04 РЭ. ООО «НТМ-Защита»). В соответствии с ГОСТом «шаровой термометр для определения результирующей температуры представляет собой зачерненную снаружи (степень черноты поверхности не ниже 0,95) полую сферу, изготовленную из меди или другого теплопроводного материала, внутри которой помещен либо стеклянный термометр, либо термоэлектрический преобразователь».

Что касается локальной асимметрии результирующей температуры, то ее измерение в соответствии с ГОСТом должно проводиться шаровым термометром, представляющим собой полую сферу, у которой одна половина шара имеет зеркальную поверхность (степень черноты поверхности не выше 0,05), а другая — зачерненную поверхность (степень черноты поверхности не ниже 0,95). К сожалению, шаровой термометр для измерения локальной асимметрии результирующей температуры не выпускается не только в нашей стране, но и в целом ряде зарубежных стран, где авторы статьи пытались приобрести прибор.

ГОСТ требует, чтобы в холодный период года измерение показателей микроклимата выполнялось при температуре наружного воздуха не выше -5°C ; не допускается проведение измерений при безоблачном небе в светлое время суток. При подготовке к проведению эксперимента возникло недопонимание целей подобных измерений. Самые низкие значения результирующей температуры формируются в помещении в расчетный зимний период, т. е. при температуре наружного воздуха, равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92. В Москве в соответствии с СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01–99* Строительная климатология» эта температура равна -26°C . Именно при этой температуре в Москве следует проверять требования ГОСТа. Вероятно, результаты, полученные измерением при температуре наружного воздуха, не соответствующей

их расчетному холодному периоду, должны быть пересчитаны. Однако нормативного метода расчета нет ни в ГОСТе, ни в других источниках, известных авторам статьи.

Кроме того, в ГОСТе указана температура наружного воздуха, которая может соответствовать стационарному тепловому режиму. В реальной жизни стационарные наружные температурные условия даже в холодный период года наблюдаются крайне редко. В то же время радиационная температура в каждой точке помещения зависит от температуры внутренних поверхностей, обращенных в помещение. В натурных условиях эта температура формируется в нестационарных тепловых условиях. Поэтому для пересчета результатов эксперимента при какой-либо температуре наружного воздуха следует математическую модель помещения привести в соответствие с расчетом в стационарных условиях.

Целью настоящей работы являлось натурное исследование результирующей температуры и температуры воздуха на границе обслуживаемой зоны образовательной аудитории в соответствии с требованиями ГОСТа к подобным измерениям; анализ полученных результатов, верификация температуры наружного воздуха и математической модели помещения для расчета в стационарных тепловых условиях реального нестационарного теплового процесса, расчет результирующей температуры для сравнения с экспериментально полученными данными. К цели работы отнесен также пересчет значений результирующей температуры помещения на границе обслуживаемой зоны по полученным характеристикам помещения на наружные расчетные условия холодного зимнего периода для оценки наиболее низких значений результирующей температуры и соответствия их нормативным значениям.

Результаты

Натурное исследование температуры внутреннего воздуха и результирующей температуры помещения проводилось 5 февраля 2022 г. в помещении учебного класса ООО «Институт пассивного дома». Площадь помещения равна $42,96\text{ м}^2$. В наружной стене имеется окно размером $3,84 \times 2,06\text{ м}$. Низ окна поднят над полом на $0,9\text{ м}$. Окно смещено ближе к левой перегородке. Окно оснащено двухкамерным стеклопакетом с двумя И-стеклами, т. е. покрытыми низкоэмиссионными пленками, и заполнением аргоном обоех межстекольных пространств. Формула стеклопакета: 6TopN-14AR-4M-12AR-4TopN. Сопrotивление теплопередаче наружной стены равно $3,2\text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, окна — $1,2\text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$. Под окном находится отопительный прибор — стальной колончатый радиатор. Передняя панель радиатора имеет размеры $0,72 \times 0,56\text{ м}$. Кроме теплоты отопительного прибора в тепловом балансе помещения следует учитывать теплоту вентиляционного воздуха. Подача и удаление воздуха в помещении осуществляется приточно-вытяжной установкой с пластинчатым теплообменником без возврата влаги, при работе которой проис-

ходит нагрев воздуха. Расход приточного воздуха с температурой $22,5^{\circ}\text{C}$ равен $320\text{ м}^3/\text{ч}$. Кроме того, в помещение попадает около $30\text{ м}^3/\text{ч}$ инфильтрационного воздуха. В качестве теплоступлений в помещении во время эксперимента присутствовало двое молодых мужчин, которые в соответствии со справочными данными выделяют при температуре внутреннего воздуха около 25°C и легкой работе по $65\text{ Вт}/\text{чел}$ явной теплоты.

При подготовке к проведению эксперимента для измерения значений температуры на внутренних поверхностях наружных и внутренних ограждающих конструкций были установлены термодатчики (Комплекс измерительный iBDL «Ревизор». ООО «Научно-Техническая Лаборатория Электронные Инструменты» (ЭЛИН) общим количеством 27 шт. Один из датчиков фиксировал изменение температуры наружного воздуха. Частота измерений – 5 мин.

Температура воздуха и результирующая температура измерялись с помощью полностью зачерненного шарового термометра в полном соответствии с требованиями к порядку измерений [12].

На используемый в натурном эксперименте комплект измерительных приборов имеются документы о поверке, которая была выполнена 17 декабря 2020 г. и действительна до 16 декабря 2022 г.

К сожалению, 5 февраля было последним днем зимы 2021–2022 г., когда средняя температура наружного воздуха была около -5°C . Из-за неустойчивой погоды, когда прогноз Гидрометеоцентра не обещал в дальнейшем морозных дней, было принято решение выполнить эксперимент. Измерения были начаты в 7 ч утра. Однако небо в 10 ч утра начало очищаться от облаков, и на некоторое время выглянуло солнце. Так как исследования при ясном небе и особенно при солнечном облучении запрещены ГОСТом, измерения пришлось прекратить. На рис. 1

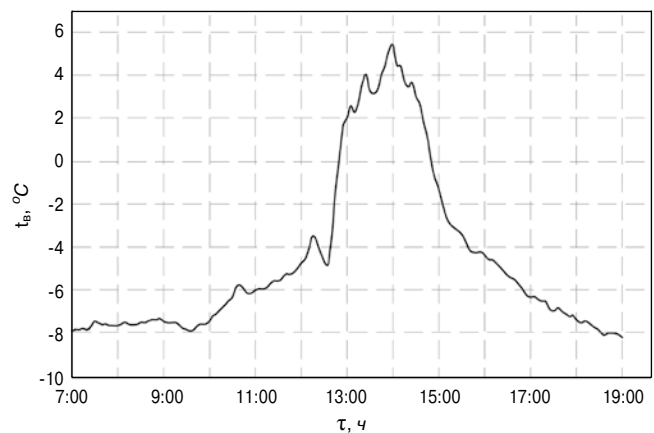


Рис. 1. Изменение температуры наружного воздуха в течение эксперимента

Fig. 1. Change in outdoor temperature during the experiment

приведено изменение температуры наружного воздуха, которое свидетельствует о нестационарном тепловом режиме здания во время измерений с 7.00 до 10.00. Причем это относится к повышению температуры наружного воздуха до инсоляции. Средняя температура наружного воздуха во время эксперимента равнялась -7°C .

Датчик температуры наружного воздуха был оснащен отражающим экраном из алюминиевой фольги для того, чтобы исключить его прямой нагрев солнцем. Поэтому можно считать, что измеренные им величины относятся к температуре наружного воздуха.

Задачей исследования была отработка алгоритма получения экспериментальных данных и выработки исходных данных для расчета в стационарных условиях.

Наиболее показательными являются замеры на уровне 1,7 м от пола, так как этот уровень приближен к середине окна по высоте (именно на ней результирующая температура должна быть самой низкой), и на уровне 0,4 м от пола, так как он ближе всего к се-

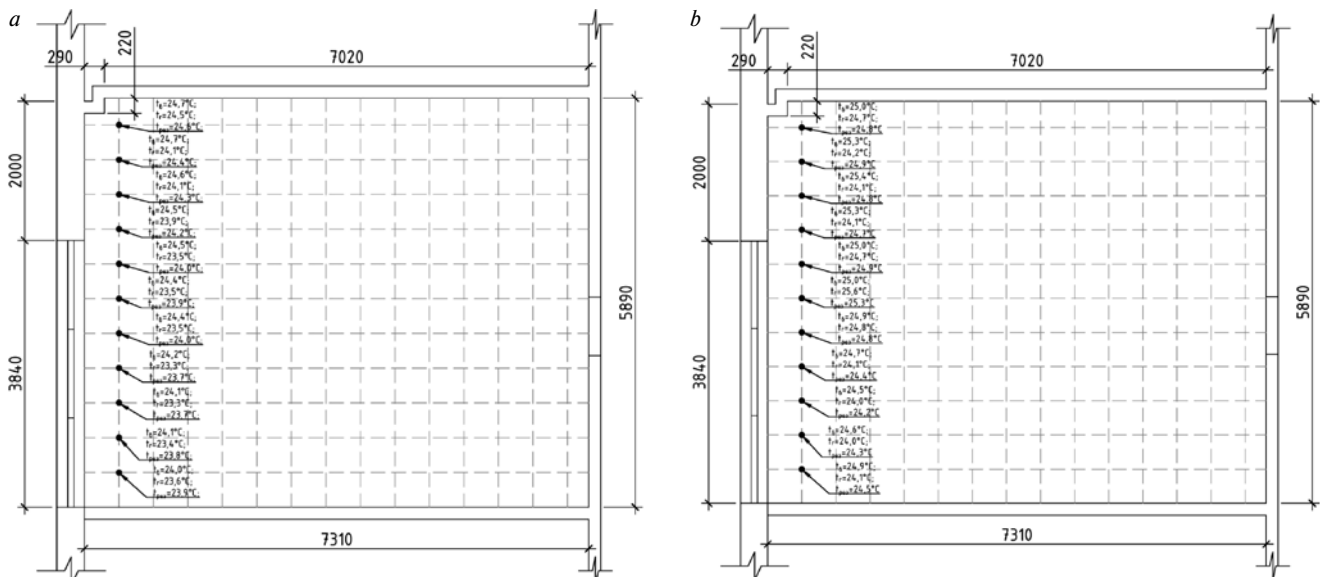


Рис. 2. Распределение температуры воздуха, результирующей и радиационной температуры на границе обслуживаемой зоны по данным натурного эксперимента при температуре наружного воздуха -7°C : а – на высоте от пола 1,7 м; б – на высоте от пола 0,4 м

Fig. 2. Distribution of air temperature, resulting and radiation temperature according to the plan of the premises according to the data of the full-scale experiment at an outdoor air temperature of -7°C : а – at a height of 1.7 m from the floor; б – at a height of 0.4 m from the floor

редине отопительного прибора по высоте. Замеры начинались от точки на границе обслуживаемой зоны (на 0,5 м от наружной стены) и на 0,5 м от левой перегородки. Далее прибор переставлялся на 0,5 м вправо. После достижения последней точки на границе обслуживаемой зоны у правой перегородки прибор предполагалось переставить снова ближе к левой перегородке на 0,5 м в глубь помещения от границы обслуживаемой зоны, однако, как сказано выше, погода не позволила это сделать. Результаты измерений показаны на рис. 2.

Исходя из вышеизложенного, следует разработать рекомендации получения усредненных исходных данных о наружных и внутренних условиях по данным реального нестационарного теплового процесса. В соответствии с требованиями ГОСТа измерения шаровым термометром должны осуществляться в точках на расстояниях от пола на 0,1; 0,4; 0,6; 1,1; 1,7 м. Однако в настоящей работе приходится учитывать не только требования ГОСТа, но и тот порядок измерений, который был принят при эксперименте. Дело в том, что установка шарового термометра с Метеоскопом-М в какой-либо точке требует времени и определенной наладки. Поэтому для сокращения времени эксперимента было принято на каждой точке проводить измерения поочередно для всех расстояний от пола, начиная снизу. Таким образом, время начала замера на каждой точке значительно отличалось друг от друга. Принять некоторое среднее время для отдельного уровня при таком порядке невозможно. В сложившихся условиях в расчете можно использовать только усредненные величины за какой-то промежуток времени эксперимента. А если учесть время формирования температуры внутренних поверхностей, то следует принять во внимание изменение температуры наружного воздуха за некоторое время до начала измерений. Однако замеренные значения температуры воздуха, результирующей температуры и радиационной температуры в каждой точке единственны и относятся к определенному времени.

Результирующая температура на границе обслуживаемой зоны на высоте 0,4 м несколько выше температуры на высоте 1,7 м из-за отопительного прибора. Это объясняется средней температурой отопительного прибора, равной 42,6°C при небольших теплотерях и довольно высокой температуре внутренней поверхности окна с высоким сопротивлением теплопередаче.

Естественно, ожидать, что результирующая температура окажется ниже нормируемой ГОСТом, не приходится, так как, во-первых, температура наружного воздуха близка не к расчетному периоду для холодного времени года, а к его окончанию, а во-вторых, сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций превосходят требуемые по СП 50.13330.2012.

Кроме того, обращает на себя внимание увеличение значений температуры на границе обслуживаемой зоны по мере перестановки шарового термометра от левой перегородки к правой. Это увеличение отражает приближение к отопительному прибору и возрастание температуры наружного воздуха.

Расчет распределения радиационной температуры по помещению выполнен для сравнения его результатов с результатами эксперимента, чтобы оценить возможную точность при расчете температурной обстановки помещения в расчетных зимних условиях. В программу, использованную в [13], заложено решение системы уравнений тепловых балансов всех поверхностей, обращенных в помещение, и воздуха помещения. Программа предназначена для решения задачи стационарного теплового процесса. Были выполнены расчеты при той же температуре наружного воздуха -7°C, которая была во время проведения эксперимента, но при двух целевых температурах результирующей температуры помещения: 24,5°C, как это имело место в эксперименте, и 22°C, как считалось необходимым для работы в классе. Кроме того, для подтверждения высокой радиационной температуры при поддержании требуемой температурной обстановки в помещении с высоким уровнем теплозащиты

Таблица 1
Table 1

Температурная обстановка помещения, полученная в эксперименте и в расчетах при различной температуре наружного воздуха и поддерживаемой в помещении
The temperature situation of the room, obtained in the experiment and in calculations at various temperatures of the outside air and maintained in the room

Температура наружного воздуха, °C	Температура, °C, внутренних поверхностей								Температура, °C		
	Потолка	Пола	Наружной стены	Левой перегородки	Торцевой перегородки	Правой перегородки	Окна	Отопительного прибора	Воздуха	Радиационная	Результирующая
-7, эксперимент*	24,41	24,39	23,19	24,09	24,83	24,82	22,06	41,75			
-7, расчет	24,34	24,31	23,16	24,29	24,63	24,54	21,16	42,6	24,83	24,16	24,5
-7, расчет	21,86	21,83	20,75	21,81	22,15	22,06	18,86	40,9	22,302	21,696	22
-26, расчет	24,26	24,21	22,42	24,18	24,55	24,45	19,35	79,6	25,04	23,95	24,5
-26, расчет	21,78	21,72	19,99	21,7	22,07	21,97	17,02	76,4	22,52	21,48	22

Примечание. * Указаны средние за время эксперимента значения.

Таблица 2
Table 2

Значения радиационной температуры на границе обслуживаемой зоны помещения по расчету (расчетные точки расположены вдоль границы обслуживаемой зоны от точки на 0,5 м от левой перегородки, далее через 0,5 м)

The values of the radiation temperature at the boundary of the serviced area of the premises according to the calculation (calculated points are located along the boundary of the serviced area from the point 0.5 m from the left partition, then after 0.5 m)

На высоте 1,7 м от пола											
$t_{н}=-7^{\circ}\text{C}, t_{в}=24,5^{\circ}\text{C}$	23,54	23,38	23,34	23,35	23,39	23,45	23,53	23,77	23,99	24,15	24,46
$t_{н}=-7^{\circ}\text{C}, t_{в}=22^{\circ}\text{C}$	21,11	20,96	20,92	20,94	20,98	21,03	21,11	21,32	21,52	21,67	21,95
$t_{н}=-26^{\circ}\text{C}, t_{в}=24,^{\circ}\text{C}$	22,99	22,77	22,74	22,8	22,91	23,01	23,1	23,4	23,67	23,85	23,18
$t_{н}=-26^{\circ}\text{C}, t_{в}=22^{\circ}\text{C}$	20,55	20,34	20,3	20,36	20,48	20,57	20,66	20,94	21,19	21,36	21,66
На высоте 0,4 м от пола											
$t_{н}=-7^{\circ}\text{C}, t_{в}=24,5^{\circ}\text{C}$	24,02	23,95	23,97	24,15	24,95	25,73	24,76	24,2	24,13	24,22	24,61
$t_{н}=-7^{\circ}\text{C}, t_{в}=22^{\circ}\text{C}$	21,56	21,49	21,52	21,71	22,53	23,34	22,33	21,74	21,66	21,74	22,09
$t_{н}=-26^{\circ}\text{C}, t_{в}=24,5^{\circ}\text{C}$	23,73	23,66	23,78	24,34	26,67	28,94	26,04	24,3	23,96	23,99	24,38
$t_{н}=-26^{\circ}\text{C}, t_{в}=22^{\circ}\text{C}$	21,26	21,2	21,31	21,86	24,17	26,4	23,54	21,82	21,49	21,5	21,85

были проделаны расчеты при расчетной температуре наружного воздуха -26°C для тех же двух случаев результирующей температуры помещения. По той же программе были получены значения температуры на внутренних поверхностях ограждающих конструкций, а также температуры воздуха, радиационной и результирующей, представленные в табл. 1.

Температура воздуха во всех случаях превышает результирующую температуру, а радиационная была ниже температуры воздуха. Для того чтобы температура воздуха превышала радиационную, в помещении должны иметь место конвективные теплопоступления. Ими были теплопоступления от отопительного радиатора в размере 70% его полной теплоотдачи и 50% теплопоступлений от людей.

Распределения радиационной температуры на границе обслуживаемой зоны помещения на высоте 1,7 и 0,4 м от пола, полученные расчетом, приведены в табл. 2.

Обсуждение

Расчет показал удовлетворительное совпадение экспериментальных (рис. 2) и расчетных результатов (табл. 2, строки 1 и 5). Хорошее совпадение результатов позволило считать достоверными результаты расчетов температурной обстановки помещения при температуре наружного воздуха -26°C . Расчеты показывают, что при высоких сопротивлениях теплопередаче наружных ограждающих конструкций радиационная температура на границе обслуживаемой зоны лежит в пределах оптимальных норм (при поддержании в помещении результирующей температуры 22°C).

Список литературы

1. Malyavina E.G., Frolova A.A., Landyrev S.S. Microclimate parameters evaluation for spaces with windows of different thermal protection. *Light&Engineering*. 2021. No. 29(5), pp. 61–67. DOI: 10.33383/2021-078

Выводы

1. Подтверждается необходимость выполнения требований ГОСТ 30494–2011 об инструментальных измерениях температуры внутреннего воздуха, радиационной и результирующей температуры помещения при облачной погоде, желательна с небольшим суточным ходом температуры наружного воздуха.

2. Рекомендуется внести в ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» дополнительное требование о пересчете на расчетные наружные условия результатов замеров шаровым термометром температурной обстановки помещения, полученной при более теплой погоде, чем расчетные зимние условия.

3. Предлагается на стадии проектирования для выполнения требований ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» делать расчетную проверку значений результирующей температуры на границе обслуживаемой зоны в наиболее холодный расчетный зимний период, особенно при размерах окон, обеспечивающих естественную освещенность помещения и превышающих этот размер.

4. Следует при проектировании любых общественных помещений с приборным отоплением ориентироваться на среднюю результирующую температуру объема обслуживаемой зоны, как это требуется по ГОСТу, а не всего помещения, так как конвективная струя от отопительного прибора, особенно в наиболее холодный расчетный зимний период, поднимается под потолок и перегревает необитаемую верхнюю зону.

References

1. Malyavina E.G., Frolova A.A., Landyrev S.S. Microclimate parameters evaluation for spaces with windows of different thermal protection. *Light&Engineering*. 2021. No. 29(5), pp. 61–67. DOI: 10.33383/2021-078

2. Musy M., Malys L., Inard Cr. Assessment of direct and indirect impacts of vegetation on building comfort: a comparative study of lawns, green walls and green roofs. *Procedia Environmental Sciences*. 2017. Vol. 38, pp. 603–610. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.134>
3. Naboni E., Meloni M., Coccolo S., Kaempf Jé., Scartezzini Jean-L. An overview of simulation tools for predicting the mean radiant temperature in an outdoor space. *Energy Procedia*. 2017. Vol. 122, pp. 1111–1116. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.471>
4. Liang Yu., Zhang Nan, Huang G. Thermal environment and thermal comfort built by decoupled radiant cooling units with low radiant cooling temperature. *Building and Environment*. 2021. Vol. 206. 108342. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108342>
5. Вытчиков Ю.С., Сапарёв М.Е., Беляков И.Г. Оценка теплозащитных характеристик строительных ограждающих конструкций здания гостиницы мужского монастыря // *Градостроительство и архитектура*. 2021. Т. 11. № 4. С. 72–80. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.04.9
6. Борисоглебская А.П. Технологии создания микроклимата в медицинских учреждениях // *АВОК*. 2017. № 5. С. 3–6.
7. Авдюшин Д.А. Архивохранилище: особенности создания микроклимата помещений // *АВОК*. 2019. № 4. С. 34–39.
8. Кочев А.Г., Соколов М.М., Кочева Е.А., Федотов А.А. Практическое использование альтернативных энергетических ресурсов в православных храмах // *Известия вузов. Строительство*. 2019. № 7. С. 78–85. DOI: 10.32683/0536-1052-2019-727-7-78-85
9. Старкова Л.Г., Морева Ю.А., Новоселова Ю.Н. Оптимизация микроклимата в православном храме методом моделирования воздушных потоков // *Вестник Южноуральского государственного университета. Сер. Строительство и архитектура*. 2018. Т. 18. № 3. С. 53–59. DOI: 10.14529/build180308
10. Бурков А.И., Ивашкин В.С. Современные тенденции развития систем обеспечения микроклимата общественных зданий // *Современные технологии в строительстве. Теория и практика*. 2020. Т. 1. С. 139–144.
11. Сладкова Ю.Н., Смирнов В.В., Зарицкая Е.В. К вопросу о гигиеническом нормировании микроклимата и качестве воздуха офисных помещений // *Медицина труда и промышленная экология*. 2018. № 5. С. 35–39.
12. Измеритель параметров микроклимата Метеоскоп-М. Руководство по эксплуатации. 2020. БВЕК.431110.04 РЭ. ООО «НТМ-Защита» 115230, г.Москва, 1-й Нагатинский проезд, дом 10, строение 1.
13. Малявина Е.Г., Ландырев С.С. Проверка выполнения требований ГОСТ 30494–2011 к параметрам внутренней среды на границе обслуживаемой зоны // *АВОК*. 2022. № 2. С. 40–42.
2. Musy M., Malys L., Inard Cr. Assessment of direct and indirect impacts of vegetation on building comfort: a comparative study of lawns, green walls and green roofs. *Procedia Environmental Sciences*. 2017. Vol. 38, pp. 603–610. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.134>
3. Naboni E., Meloni M., Coccolo S., Kaempf Jé., Scartezzini Jean-L. An overview of simulation tools for predicting the mean radiant temperature in an outdoor space. *Energy Procedia*. 2017. Vol. 122, pp. 1111–1116. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.471>
4. Liang Yu., Zhang Nan, Huang G. Thermal environment and thermal comfort built by decoupled radiant cooling units with low radiant cooling temperature. *Building and Environment*. 2021. Vol. 206. 108342. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108342>
5. Vytchikov Y.S., Belyakov I.G., Saparev M.E. Assessment of heat protection characteristics of building enclosing structures of the building of the men's monastery. *Gradostroitel'stvo i arhitektura*. 2021. Vol. 11. No. 4, pp. 72–80. (In Russian). DOI: 10.17673/Vestnik.2021.04.9
6. Borisoglebskaya A.P. Specifics of creation of micro climate in medical institutions. *AVOK*. 2017. No. 5, pp. 3–6. (In Russian).
7. Avdyushin D.A. Archives: specific of climate control. *AVOK*. 2019. No. 4, pp. 34–39. (In Russian).
8. Kochev A.G. Sokolov M.M., Kocheva E. A., Fedotov A.A. Practical use of alternative energy resources in orthodox temples. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo*. 2019. No. 7, pp. 78–85. (In Russian). DOI: 10.32683/0536-1052-2019-727-7-78-85
9. Starkova L.G., Moreva Y.A., Novoselova Y.N. Optimization of the microclimate in an Orthodox church by modeling air flows. *Bulletin of the South Ural State University. The series "Construction and Architecture"*. 2018. Vol. 18. No. 3, pp. 53–59. (In Russian). DOI: 10.14529/build180308
10. Burkov A.I., Ivashkin V.S. Modern trends in the development of microclimate systems for public buildings. *Modern technologies in construction. Theory and practice*. 2020. Vol. 1, pp. 139–144. (In Russian).
11. Sladkova Y., Smirnov V., Zaritskaya E. On hygienic regulation of microclimate and air quality in office rooms. *Meditsina truda i promishlennaya ecologia*. 2018. No. 5, pp. 35–39. (In Russian). DOI: <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2018-5-35-39>
12. Microclimate measurement unit Meteoscope-M. Operation manual. 2020. BVEK.431110.04 RE [Operation manual]. LLC «NTM - Zashchita» 115230, Moscow, 1st Nagatinskiy proezd, building 10/1. (In Russian).
13. Malyavina E.G., Landyrev S.S. Checking for compliance with GOST 30494–2011 requirements for indoor environment parameters at the service zone border. *AVOK*. 2022. No. 2, pp. 40–42. (In Russian).

IV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-
ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ»

6-7
ИЮЛЯ 2022

КАЛИНИНГРАД
HOLIDAY INN
KALININGRAD

Организатор конференции



INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS

10 ЛЕТ 2022

Международная Ассоциация
Фундаментостроителей

Официальная поддержка



РОСМОРПОРТ

Генеральный спонсор конференции



ZINKER

Спонсоры конференции



СИНЕРГО



торговый дом
РЕКС

Генеральные информационные партнеры



ФУНДАМЕНТЫ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВЩИКОВ И СТРОИТЕЛЕЙ



Гидротехника



**Орожная
Сержава**



Дороги



ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНОВ



Вод

НИИ строительство
научно-исследовательский центр

12+

www.fc-union.com,
info@fc-union.com,
+7 (495) 66-55-014,
+7 925 57-57-810

УНИКАЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО КЕРАМЗИТА И КЕРАМЗИТОБЕТОННЫХ БЛОКОВ



Самый лёгкий керамзит на рынке в России

Керамзит фракции 10-20 объёмным весом 170 кг/м³ (марка М250)

Мы являемся единственным предприятием в России, способным производить очень лёгкий керамзит в промышленных масштабах. Теплозащитные свойства такого керамзита в два-три раза выше, чем в среднем производимого по стране (0,045-0,06 Вт/м²С).

Революция в экологичном и энергоэффективном строительстве

Мы производим блоки из суперлёгкого керамзита, поэтому они имеют очень низкую теплопроводность

Блоки серий «Термокомфорт» и «Термоплюс» при средней плотности от 600-800 кг/м³ обладают коэффициентом теплопроводности от 0,14 Вт/м²С (при естественной влажности)

Не содержит никаких вредных для здоровья искусственных примесей

Материалы сертифицированы и успешно прошли испытания в лаборатории

Наша продукция на 100% состоит из природного сырья и обладает отличными техническими характеристиками и рекомендована для строительства детских и медицинских учреждений, животноводческих предприятий, а также для малоэтажного строительства и межкомнатных пространств многоэтажных домов.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

01

Запущена линия производства керамзитных блоков с высоким шумопоглощением и звукоизоляцией.

02

Современные технологии позволяют делать утепление фундамента и крыши с помощью сверхлёгкого керамзита. При помощи утепления керамзитом фундамента дома существенно повышается теплоизоляция пола и уменьшается глубина фундамента. Керамзит не заменим при утеплении плоской кровли.

03

Оптимальный вариант в утеплении стен керамзитом – использование 3-х слойной конструкции стены. Также керамзитовый песок с успехом применяется в монолитном строительстве. В рабочей смеси: керамзитовый песок фракции 0-2мм и керамзит фракции 5-10мм.

04

Тёплый кладочный раствор с применением керамзитного песка (теплоизоляция от 0,22 до 0,28 Вт/м²С). В 4 раза ниже, чем у обычного цементного раствора с коэффициентом 0,93 Вт/м²С.

05

Применение керамзита в дорожном строительстве в качестве «подушки» под дорожное полотно. Существенно снижает риск возникновения деформации дорожного покрытия, обледенения (керамзит «гасит» разницу в температурных колебаниях дорожного полотна). Благодаря своей лёгкости незаменим при сооружении мостов, дамб, причалов.

06

С помощью теплоизоляции трубопроводов керамзитом повышается срок эксплуатации теплопроводов и увеличивается защита от вредного воздействия перепадов температур и влажности.