

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0005-9889

# БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

1

609

2022

WWW.RIFSM.RU

ИЗДАЕТСЯ С 1955 ГОДА



Объединяя опыт по всему миру



# НАШИ РЕШЕНИЯ, ВАШ УСПЕХ

24 – 27 мая 2022  
Крокус Экспо, Москва



Бесплатный билет  
по промокоду **MPLDAB**

➔ [www.bauma-ctt.ru/register](http://www.bauma-ctt.ru/register)



Главная выставка строительной  
техники и технологий в России

[www.bauma-ctt.ru](http://www.bauma-ctt.ru)

**bauma** CTT **RUSSIA**

**Учредитель:** Ассоциация «Железобетон»  
**Адрес:** 109428, г. Москва, Рязанский просп., д. 22, корп. 2  
**Издатель:** ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»  
**Адрес:** 125319, г. Москва, ул. Черняховского, д. 9, корп. 1, кв. 1  
Зарегистрирован в Министерстве печати и информации РФ  
Рег. ПИ № ФС 77-76959 от 09.10.2019  
ISSN 0005-9889 (Print)  
Основан: Институт НИИЖБ Госстроя СССР и ВНИИЖелезобетон Минстройматериалов СССР

# БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН

Издается с 1955 г.

**1 (609)**  
**Январь–февраль 2022**

В.В. МАЛЮК, В.Д. МАЛЮК, С.Н. ЛЕОНОВИЧ

## **Анализ результатов обследования железобетонных конструкций портовых сооружений**

**(о. Сахалин, 1927–2018 гг.) . . . . . 3**

С.А. ЗЕНИН, К.Л. КУДЯКОВ, О.В. КУДИНОВ

## **Оценка влияния бетонов на заполнителях по ГОСТ 32703–2014 на прочностные и деформативные свойства изгибаемых железобетонных конструкций. . . . . 10**

В.В. РЕМНЁВ

## **Возможности применения грунтобетонов для изготовления фундаментных и дорожных плит . . . . . 17**

Н.В. БАРАННИК, С.В. КОТОВ, Е.С. ПОТАПОВА, С.С. МАЛАХИН

## **Определение химического состава компонентов бетона методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой . . . . . 22**

М.Ю. ТИТОВ, И.С. КУЗНЕЦОВА, М.И. БЕЙЛИНА, В.А. ШАБАЛИН

## **Применение отходов металлургической промышленности для получения жаростойких бетонов . . . . . 31**

З.У. БЕППАЕВ, Л.Х. АСТАВАЦУРОВА, С.А. КОЛОДЯЖНЫЙ, С.А. ВЕРНИГОРА, В.В. ЛОПАТИНСКИЙ

## **Определение физико-технических характеристик рециклингового щебня из боя керамического кирпича с выявлением перспектив его применения в качестве заполнителей для бетонов . . . . . 36**

В.В. РЕМНЁВ

## **Эффективный бетон повышенной термостойкости для теплозащитных покрытий**

**стартовых сооружений ракетно-космических комплексов . . . . . 43**

### **Редакционная коллегия**

**ЗВЕЗДОВ А.И.**, главный редактор, д-р техн. наук, заместитель генерального директора по научной работе, АО НИЦ «Строительство» (Москва)

**АРХИПКИН А.А.**, зам. главного редактора, Ассоциация «Железобетон» (Москва)

**ГРАНЕВ В.В.**, д-р техн. наук, заместитель генерального директора – научный руководитель, АО «ЦНИИПромзданий» (Москва)

**ГУСЕВ Б.В.**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технологии», РУТ/МИИТ (Москва)

**ЙЕНСЕН О.М.**, д-р техн. наук, профессор Датского технического университета (Дания)

**КУЗЕВАНОВ Д.В.**, канд. техн. наук, директор НИИЖБ им. А.А. Гвоздева (Москва)

**МАИЛЯН Д.Р.**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций, Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону)

**МОРОЗОВ В.И.**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (Санкт-Петербург)

**МЮЛЛЕР Х.С.**, д-р техн. наук, профессор Университета Карлсруэ, Институт технологии – КИТ (Германия)

**НЕСВЕТАЕВ Г.В.**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой технологии строительного производства, Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону)

**РАХМАНОВ В.А.**, канд. техн. наук, профессор, генеральный директор ООО «Институт ВНИИЖелезобетон», Москва

**СТЕПАНОВА В.Ф.**, д-р техн. наук, заведующая лабораторией коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева (Москва)

**ТАМРАЗЯН А.Г.**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, советник РААСН (Москва)

**ТРАВУШ В.И.**, д-р техн. наук, главный конструктор, заместитель генерального директора по научной работе ЗАО «ГОРПРОЕКТ», вице-президент РААСН (Москва)

**УШЕРОВ-МАРШАК А.В.**, д-р техн. наук, профессор Харьковского государственного технического университета строительства и архитектуры (Украина)

**ФАЛИКМАН В.Р.**, канд. хим. наук, д-р материаловедения, руководитель Центра научно-технического сопровождения сложных объектов строительства, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева (Москва)

**ХОЗИН В.Г.**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Казанский государственный архитектурно-строительный университет (Казань)

### **Авторы**

опубликованных материалов несут ответственность за достоверность приведенных сведений, точность данных по цитируемой литературе и за использование в статьях данных, не подлежащих открытой публикации.

### **Редакция**

может опубликовать статьи в порядке обсуждения, не разделяя точку зрения автора.

### **Перепечатка**

и воспроизведение статей, рекламных и иллюстративных материалов возможны лишь с письменного разрешения главного редактора.

**Редакция не несет ответственности за содержание рекламы и объявлений.**

**Адрес редакции:** Россия, 127434, Москва, Дмитровское ш., д. 9, стр. 3  
**Тел.:** (499) 976-22-08, (499) 976-20-36  
**E-mail:** mail@rifsm.ru  
**http://azhb.ru/** **http://www.rifsm.ru**

**Founder of the journal:**

«Reinforced concrete» Association  
**Address:** 22, building 2, Ryazansky prospect,  
 Moscow, 109428, Russian Federation

**Publisher:** «STROYMATERIALY»  
 Advertising-Publishing Firm, OOO

**Address:** 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,  
 Moscow, 125319, Russian Federation

The journal is registered by the RF  
 Ministry of Press, Broadcasting and Mass  
 Communications PI № FS 77-76959  
 dated 09.10.2019 (Russia)  
 ISSN 0005-9889 (Print)

Founded: Institutes of NIIZhB Gosstroy of the  
 USSR and VNIIZhelezobeton of the USSR  
 Ministry of Construction Materials

# BETON I ZHELEZOBETON

Published since 1955

**1 (609)**  
**January–February'2021**

V.V. MALYUK, V.D. MALYUK, S.N. LEONOVICH

**Analysis of the Results of the Survey of Reinforced Concrete Structures of Port Facilities**

**(Sakhalin Island 1927–2018) . . . . . 3**

S.A. ZENIN, K.L. KUDYAKOV, O.V. KUDINOV

**Evaluation of the Influence of Concretes on Aggregates According to GOST 32703–2014 on the Strength and**

**Deformative Properties of Bent Reinforced Concrete Structures . . . . . 10**

V.V. REMNEV

**Possibilities of Using Soil-Concrete for the Manufacture of Foundation and Road Slabs . . . . . 17**

N.V. BARANNIK, S.V. KOTOV, E.S. POTAPOVA, S.S. MALAKHIN

**Determination of Chemical Composition of Concrete Components**

**by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry . . . . . 22**

M.Yu. TITOV, I.S. KUZNETSOVA, M.I. BEILINA, V.A. SHABALIN

**The use of Waste from the Metallurgical Industry for the Production of Heat-Resistant Concrete . . . . . 31**

Z.U. BEPPAEV, L.H. ASTVATSUROVA, S.A. KOLODYAZHNY, S.A. VERNIGORA, V.V. LOPATINSKY

**Determination of Physical and Technical Characteristics of Recycling Crushed Stone from the Breakages**

**of Ceramic Bricks with the Identification of Prospects for its Use as Aggregates for Concrete. . . . . 36**

V.V. REMNEV

**Effective Concrete of Increased Thermal Resistance for Heat Protective Coatings**

**of Starting Facilities of the Rocket and Space Complex. . . . . 43**

**Editorial team:**

**ZVEZDOV A.I.**, Editor-in-Chief, Doctor of Sciences (Engineering), Deputy Director General for Research, Research Center «Stroitel'stvo» JSC (Moscow)

**ARKHIPKIN A.A.**, Deputy Editor-in-Chief, Structural Concrete Association (Moscow)

**GRANYOV V.V.**, Doctor of Sciences (Engineering), Deputy Director General – Scientific Supervisor, «TsNIIPromzdaniy» JSC (Moscow)

**GUSEV B.V.**, Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Building Materials and Technologies Department, Russian University of Transport (MILT) (Moscow)

**JENSEN O.M.**, Dr. Sci., Professor, Danish Technical University (Denmark)

**KUZEVANOV D.V.**, Candidate of Sciences (Engineering), Director of the Scientific Research Institute for Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (Moscow)

**MAILYAN D.R.**, Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Reinforced Concrete and Stone Structures Department, Don State Technical University (Rostov-on-Don)

**MOROZOV V.I.**, Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Reinforced Concrete and Stone Structures Department, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (St. Petersburg)

**MÜLLER H.S.**, Dr. Sci., Professor of the Karlsruhe University, Institute of Technology – KIT (Germany)

**NESVETAEV G.V.**, Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Construction Technology Department, Don State Technical University (Rostov-on-Don)

**RAKHMANOV V.A.**, Candidate of Sciences, Professor, General Director LLC «Institute VNIIZhelezobeton», Moscow

**STEPANOVA V.F.**, Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Laboratory for Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, of the Scientific Research Institute for Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (Moscow)

**TAMRAZIAN A.G.**, Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Reinforced Concrete and Stone Structures Department, Moscow State University of Civil Engineering (Moscow)

**TRAVUSH V.I.**, Doctor of Sciences (Engineering), Chief Designer, Deputy Director General for Research, «GORPROEKT» CJSC, Vice-President of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow)

**USHEROV-MARSHAK A.V.**, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Kharkiv State Technical University of Construction and Architecture (Ukraine)

**FALIKMAN V.R.**, Candidate of Sciences (Chemistry), Doctor of Materials Science, Head Center for scientific and technical assistance at complex facilities construction in the Scientific Research Institute for Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (Moscow)

**KHOZIN V.G.**, Doctor of Sciences (Engineering), Head of the Building Materials, Products and Structures Technology Department, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (Kazan)

**The authors**

of published materials are responsible for the accuracy of the submitted information, the accuracy of the data from the cited literature and for using in articles data which are not open to the public.

**The Editorial Staff**

can publish the articles as a matter for discussion, not sharing the point of view of the author.

**Reprinting**

and reproduction of articles, promotional and illustrative materials are possible only with the written permission of the editor-in-chief.

**The Editorial Staff is not responsible for the content of advertisements and announcements.**

**Editorial address:** 9/3 Dmitrovskoye Hwy,  
 127434, Moscow, Russian Federation

**Tel.:** (499) 976-22-08, (499) 976-20-36

**E-mail:** mail@rifsm.ru

**http://azhb.ru/**

**http://www.rifsm.ru**

В.В. МАЛЮК<sup>1</sup>, инженер (mvv.77@mail.ru), В.Д. МАЛЮК<sup>1</sup>, канд. техн. наук;  
С.Н. ЛЕОНОВИЧ<sup>2,3</sup>, д-р техн. наук, иностранный академик РААСН (sleonovich@mail.ru)

<sup>1</sup> Филиал «ЦНИИП Минстроя России» ДальНИИС (690033, г. Владивосток, ул. Бородинская, 14)

<sup>2</sup> Белорусский национальный технический университет (220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65)

<sup>3</sup> Qingdao University of Technology (266033, China, 11 Fushun Rd, Qingdao)

## Анализ результатов обследования железобетонных конструкций портовых сооружений (о. Сахалин, 1927–2018 гг.)

*Проведено обследование конструкций портовых сооружений, возведенных на побережье юга о. Сахалин за последние 100 лет, начиная с 20-х гг. прошлого века до 2018 г. Отличительная особенность условий эксплуатации портовых сооружений состоит в климатических условиях побережья на юге острова – западное побережье острова омывается водами Японского моря, остальное побережье – водами Охотского моря. Последнее относится к числу холодных субарктических морей и является самым холодным из дальневосточных. Одновременное влияние холодного Охотского и теплого Японского морей особенно проявляется в южной части острова. Климатическое своеобразие южной части побережья о. Сахалин отражается на условиях эксплуатации конструкций портовых сооружений: южная часть Охотского моря и северная часть Японского моря никогда не замерзают. Тяжелые гидрометеорологические условия эксплуатации портовых сооружений на южном побережье Сахалина наиболее явно проявляются в зимний период: низкая отрицательная температура зимой (до  $-20^{\circ}\text{C}$ ); беспокойное море – средняя повторяемость волнения равна 35–50%, высота волн достигает 4–6 м; температура воды на поверхности моря держится около  $-1^{\circ}\text{C}$ ; соленость воды на поверхности составляет 31–33‰.*

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, портовые сооружения, обследование, влагоперенос, замораживание-оттаивание.

**Для цитирования:** Малюк В.В., Малюк В.Д., Леонович С.Н. Анализ результатов обследования железобетонных конструкций портовых сооружений (о. Сахалин, 1927–2018 гг.) // *Бетон и железобетон*. 2022. № 1 (609). С. 3–9.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-3-9>

V.V. MALYUK<sup>1</sup>, Engineer (mvv.77@mail.ru), V.D. MALYUK<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering),

S.N. LEONOVICH<sup>2,3</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), Foreign Academician of RAACS, (sleonovich@mail.ru)

<sup>1</sup> Branch of “TsNIIIP of the Ministry of Construction of Russia” DALNIIS (14, Borodinskaya Street, Vladivostok, 690033, Russian Federation)

<sup>2</sup> Belarusian National Technical University (65, Prospect Nezavisimosti, Minsk, 220013, Republic of Belarus)

<sup>3</sup> Qingdao University of Technology (266033, China, 11 Fushun Rd, Qingdao)

### Analysis of the Results of the Survey of Reinforced Concrete Structures of Port Facilities (Sakhalin Island 1927–2018)

A survey of the structures of port facilities erected on the coast of the south of Sakhalin Island over the past 100 years: from the 20s of the last century to 2018 was conducted. A distinctive feature of the operating conditions of port facilities is the climatic conditions of the coast in the south of the island – the western coast of the island is washed by the waters of the Sea of Japan, the rest of the coast is washed by the waters of the Sea of Okhotsk. The latter belongs to the number of cold subarctic seas and is the coldest of the Far Eastern. The simultaneous influence of the cold Sea of Okhotsk and the warm Sea of Japan is especially evident in the southern part of the island. Climatic peculiarity of the southern part of the coast of Sakhalin is reflected in the operating conditions of the structures of port facilities – the southern part of the Sea of Okhotsk and the northern part of the Sea of Japan never freeze. Severe hydrometeorological conditions of operation of port facilities on the southern coast of Sakhalin are most clearly manifested in winter – low negative temperature in winter (up to  $-20^{\circ}\text{C}$ ); choppy sea – the average frequency of excitement is 35–50%, the height of the waves reaches 4–6 m; the water temperature on the sea surface is about  $-1^{\circ}\text{C}$ ; the salinity of the water on the surface is 31–33‰.

**Keywords:** reinforced concrete structures, port facilities, inspection, moisture transfer, freezing-thawing.

**For citation:** Malyuk V.V., Malyuk V.D., Leonovich S.N. Analysis of the results of the survey of reinforced concrete structures of port facilities (Sakhalin Island 1927–2018.), *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2022. No. 1 (609), pp. 3–9. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-3-9>

Специфика климатических условий создает, с одной стороны, мягкие условия для судоходства – акватория портов не замерзает, с другой – создает суровые условия эксплуатации для бетона: в течение четырех зимних месяцев бетон конструкции портовых сооружений в зоне переменного уровня подвержен различным условиям замораживания. Начиная с декабря конструкции портовых сооружений подвержены воздействию

волн, которые при отрицательной температуре воздуха создают условия для обмерзания конструкций в зоне переменного уровня воды. Плавающие льды создают дополнительное механическое воздействие на бетон в зоне переменного уровня воды [1–13].

Наблюдения за состоянием портовых сооружений в зимний период позволили установить следующее. В зоне переменного уровня воды имеются три харак-

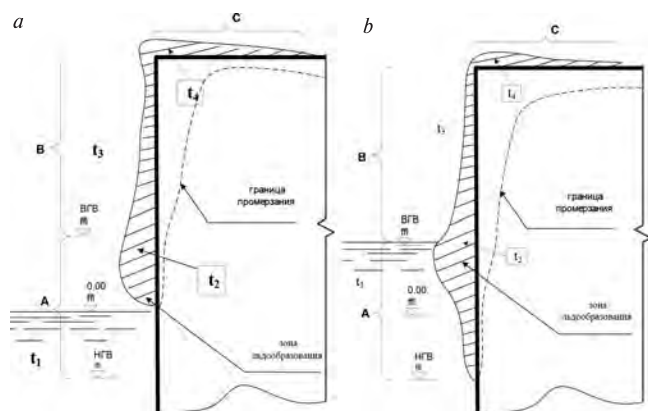


Рис. 1. Схема разделения зоны переменного уровня воды на участки с учетом водонасыщения и механизма замораживания бетона: А – участок прямого контакта с морской водой; В и С – участки насыщения бетона от всплеска волны; а – начальный и конечный зимние периоды; б – основной зимний период

Fig. 1. Scheme of dividing the zone of variable water level into sections, taking into account water saturation and the mechanism of concrete freezing: А – area of direct contact with sea water; В and С – areas of concrete saturation from a wave splash; а – initial and final winter period; б – main winter period

терных участка, которые отличаются по механизму замораживания бетона (рис. 1).

На участке действия прилива и отлива – участок А, процесс замораживания бетона происходит на воздухе в период отлива, а процесс оттаивания – в воде в период прилива. Однако цикличное замораживание и оттаивание бетона на участке А происходят только в начальный зимний период – это период до середины декабря, и в конце зимнего периода – третья декада февраля и первая декада марта, когда температура воздуха не опускается ниже минус 5–8°С, а температура воды в акватории не понижается ниже 0°С. В остальной зимний период – 60–80 сут, на участке действия отлива–прилива циклы замораживания–оттаивания отсутствуют, поскольку намерзает слой морского льда толщиной 50–100 см (рис. 1, б и 2, б).

**Показатели суровости внешних воздействий**

Результаты исследований показали, что суровость внешних воздействий для каждого выделенного участка можно оценить следующими показателями:



Рис. 2. Состояние бетона в конструкции в различные зимние месяцы: а – декабрь (02.12.20); б – февраль при приливе (25.02.21)

Fig. 2. The state of concrete in the structure in different winter months: а – December (02.12.20); б – February at high tide (25.02.21)

- числом циклов замораживания и оттаивания ( $N_{FT}$ );
- температурой оттаивания ( $t_T$ );
- температурой замораживания ( $t_F$ );
- продолжительностью замораживания ( $T_F$ );
- продолжительностью оттаивания ( $T_T$ ).

Исходя из преобладающих факторов внешних воздействий, их суровость для бетона можно оценить показателем  $P_F$ , который будет иметь следующий вид:

- $P_{F1} = f(t_F; t_T; NF_T, T_F, T_T)$  для участка А;
- $P_{F2} = f(t_F; T_F)$  для участков В и С.

Исходя из цели и задач, поставленных в работе, в представленной статье приведен анализ технологии изготовления конструкций. Технологические решения изготовления конструкций представляют как теоретический, так и практический интерес, поскольку за длительный срок портового строительства на Сахалине возводились сооружения из сборных, монолитных и сборно-монолитных конструкций. Длительный опыт строительства портовых сооружений на Сахалине предопределил применение различных технологий бетона – традиционной (классической) и современной, основанной на применении современных добавок различного назначения.

Сооружения, построенные на острове за анализируемый период, отличаются как типом, так и технологией бетонных работ изготовления конструкций. Поэтому есть возможность оценить долговечность с учетом технологических особенностей производства бетонных работ при строительстве сооружений. Анализ, построенных за период с 1920 по 2018 г. на о. Сахалин портовых сооружений позволил выявить три характерных периода строительства, которые имеют отличительные особенности в технологии бетонных работ.

**Характерные периоды строительства портовых железобетонных конструкций**

Первый период (1925–1945 гг.) характеризуется интенсивным строительством причальных сооружений из бетона на юге о. Сахалин в период японской оккупации острова. Причальные сооружения выполнены из сборно-монолитных конструкций. Подводная часть сооружения возведена из сборных конструкций – массивов-гигантов, которые изготавливались с применением местных материалов и традиционных технологических приемов, характерных для первой половины

прошлого столетия, т. е. из обычного (классического) бетона.

Второй период (1970–1990 гг.) характеризуется началом применения в технологии бетона добавок поверхностно-активных веществ (ПАВ) для повышения качественных показателей бетона. В этот период для портовых сооружений применяли специальные бетоны, которые классифицировались как гидротехнические.

Третий период (2003–2018 гг., рис. 3, 4) характерен тем, что в середине 90-х гг. прошлого века после ликвидации строительных министерств как организационных структур портовые и транспортные сооружения стали возводить строительные организации, в структуре которых отсутствовали подразделения лабораторного и строительного контроля. За этот период построены портовые сооружения из сборных, монолитных и сборно-монолитных конструкций.

В соответствии с программой выполнено обследование бетона в зоне переменного уровня десяти портовых сооружений (табл. 1). Деление зоны переменного уровня на участки по условиям внешних воздействий и классификация разрушений по видам позволили определить участки конструкций с преобладающими видами разрушений (табл. 2). В трех сооружениях проводилось детальное обследование бетона для определения основных качественных показателей бетона на различных участках зоны переменного уровня.



*Рис. 3. Берегоукрепление корневой части пирса фасонными массивами (гексабитами) (объект К3-1, табл. 1)*

*Fig. 3. Shore protection of the root part of the pier with shaped arrays (hexabits), object K3-1, Table 1*



*Рис. 4. Волноотбойная стенка из сборных железобетонных блоков массой 40 т (объект К3-2, табл. 1)*

*Fig. 4. Wave wall made of prefabricated reinforced concrete blocks weighing 40 tons (object K3-2, Table 1)*

### Характерные виды разрушения бетона

В результате обследований сооружений устанавливали характерные виды разрушений бетона

Таблица 1  
Table 1

Морские гидротехнические сооружения, построенные на о. Сахалин за период 1925–2018 гг.  
Marine hydraulic structures built on Sakhalin Island in the period 1925–2018

Шифр объекта	Тип сооружения и конструктивное решение	Год и район строительства
К1	Причалные сооружения (пирсы) из массивов-гигантов	1927–1940, г. Корсаков
Х2-1	Берегоукрепительные сооружения морской железнодорожной переправы Ванино–Холмск из тетраподов массой 5 т	1970–1973, г. Холмск
Х2-2	Причалные сооружения базы флота «Сахалинрыбпрома» из монолитного бетона, сооружение возводилось «насухо»	1971–1973, г. Холмск
К2	Берегоукрепительные сооружения территории нефтебазы	1993–1995, г. Корсаков
К3-1	Берегоукрепительные сооружения вспомогательного пирса завода СПГ из гексабитов массой 5 т	2002–2004, п. Пригородное, Корсаковский район
К3-2	Волноотбойная стенка из сборных железобетонных блоков массой 40 т	2004–2006, п. Пригородное, Корсаковский район
У3	Причалные сооружения (реконструкция), верхнее строение из монолитного бетона	2008–2009, г. Углегорск
Н3	Набережная, верхнее строение из монолитного бетона	2007–2008, г. Невельск
К3-3	Причалные и оградительные сооружения, верхнее строение из монолитного бетона	2016–2018, г. Корсаков
Х3-3	Оградительное сооружение из тетраподов массой 20 т	2016–2017, г. Холмск

Таблица 2  
Table 2

**Виды разрушений бетона в зоне переменного уровня портовых сооружений и возможные причины их возникновения**  
**Types of concrete destruction in the zone of variable level of port facilities and possible causes of their occurrence**

Вид разрушения	Характер разрушения бетона	Возможные причины разрушения, связанные с технологией бетона
$P_{\Gamma}$	Поверхностное разрушение до обнажения крупного заполнителя	Применение загрязненного щебня или щебня, имеющего высокое водопоглощение, механическое воздействие волн и льда. Водонасыщение поверхностного слоя бетона до критической степени в процессе эксплуатации, дополненное механическим воздействием волн и льда
$P_B$	Объемное прогрессирующее разрушение	Структурная неоднородность бетона из-за нестабильности технологических режимов: нарушения режимов уплотнения, применение бетонных смесей, способных к расслоению при уплотнении
$P_{C1}$	Отслоение поверхностного слоя из-за разрушения внутреннего подстилающего слоя бетона на участках обледенения (постепенный отказ)	Неоднородность бетона в конструкциях из-за расслоения бетонной смеси при использовании высокоподвижных смесей. Водонасыщение внутренних слоев бетона до критической степени в процессе эксплуатации при высоких качественных показателях бетона в поверхностном слое
$P_{C2}$	Глобальное или локальное поверхностное разрушение бетона на участках обледенения конструкций с отслоением поверхностного слоя из-за разрушения внутреннего слоя (внезапный отказ)	Недостаточное время для вызревания структуры бетона до первого длительного замораживания. При первом замораживании бетона на границе замерзания происходит насыщение пор до критической степени за счет миграции влаги из внутренних слоев бетона
$P_T$	Растрескивание бетона с последующим разрушением на куски	Нарушение режима твердения бетона

(табл. 2) и устойчивости их проявления в сооружении, т. е. локальное или глобальное разрушение. Отмечено, что разрушение бетона вида  $P_{C2}$  после первого зимнего сезона может носить и локальный, и глобальный характер. Как правило, этот вид разрушений не привлекает к себе внимания, поскольку его трудно связать с циклами ПЗО, так как разрушение происходит после первого зимнего сезона, когда бетон подвергается лишь одному циклу замораживания, но длительному. Разрушения происходят в первый год эксплуатации, т. е. в гарантийный срок, поэтому повреждения исправляет подрядчик в соответствии с



**Рис. 5.** Глобальное разрушение бетона в монолитной надстройке верхнего строения после первого зимнего сезона вида  $P_{C2}$  – отслоение поверхностной части бетона с последующим объемным разрушением внутренних слоев (объект КЗ-3, табл. 1)

**Fig. 5.** Global destruction of concrete in a monolithic superstructure of the upper structure after the first winter season of the  $P_{C2}$  type – delamination of the surface part of the concrete with subsequent volumetric destruction of the inner layers (object KZ-3, Table 1)

гарантийными обязательствами. При обследовании таких сооружений в заключении о причине разрушения, как правило, отмечают применение некачественного цемента и заполнителей и практически не анализируют реальные условия эксплуатации конструкции и технологию бетонных работ, принятую в процессе строительства.

При этом бетон находится на участках зоны переменного уровня, которые расположены выше зоны действия отлива и прилива, т. е. когда бетон не имеет прямого контакта с водой. Анализ возможных причин показывает, что данный вид разрушения обусловлен многими факторами. Глобальный характер разрушений бетона вида  $P_{C2}$  и большие материальные затраты на ликвидацию повреждений для приведения сооружения в рабочее состояние определяют необходимость в глубоком изучении этого вида разрушений. Аналогичный вид разрушений отмечен и на тетраподах в сооружениях ранней постройки. Рассмотрены возможные механизмы разрушения вида  $P_{C2}$ .

#### **Результаты натурных обследований бетона в портовых сооружениях**

Результаты натурных обследований бетона в сооружениях и экспериментальных лабораторных исследований показали, что морозостойкость бетона, оцениваемая стандартными циклами ПЗО, не всегда является определяющим критическим показателем



для бетона зоны переменного уровня воды. Это подтверждают результаты определения фактических свойств бетона в конструкциях зоны переменного уровня причального сооружения Корсаковского морского порта (о. Сахалин), построенного в 20-х гг. прошлого века. Установлено, что при невысоких качественных показателях обычного (бездобавочного) бетона по морозостойкости и водонепроницаемости обеспечена высокая долговечность бетона. При сроке эксплуатации конструкций в зоне переменного уровня около 100 лет бетон имеет следующие фактические качественные показатели: морозостойкость не более марки F<sub>250</sub>, водонепроницаемость не более марки W2. Однако фактическая прочность бетона составляет 50–60 МПа, т. е. имеется определенное несоответствие между механическими и физическими показателями, которые в данных условиях внешних воздействий должны обеспечивать механическую прочность.

Если исходить из технологического уровня бетонных работ в начале прошлого века, то в условиях нормального твердения после 28 сут прочность бетона в конструкциях должна быть в пределах 15–20 МПа, т. е. за 100 лет прочность увеличилась в три раза. Прогнозный расчет прочности бетона показал полную сходимость при использовании формулы:

$$R_N = R_{28} \frac{\lg N}{\lg 28} = 15 (20) \frac{4,32}{1,45} = 45 (60) \text{ МПа,}$$

где  $R_N$ ,  $R_{28}$  – прочность бетона при сжатии в возрасте  $N$  и 28 сут;  $\lg N$ ,  $\lg 28$  – десятичные логарифмы возраста бетона.

Возраст  $N$  определен как период твердения при положительной температуре воздуха, который для района эксплуатации – г. Корсаков, Сахалин – составил 21 тыс. дней.

Следовательно, есть все основания полагать, что в течение этого периода деградационные процессы в бетоне не происходили. Кажущееся несоответствие можно объяснить, используя основные теоретические положения о механизмах морозного разрушения бетона. Во-первых, многократное циклическое замораживание и оттаивание происходит только на участке А (рис. 2) при действии прилива–отлива в начале и в конце зимы, когда температура воздуха не опускается ниже  $-8^\circ\text{C}$ , а морская вода в акватории порта плюсовая. Во-вторых, в основной зимний период (60–70 сут), когда температура воздуха опускается ниже  $-10^\circ\text{C}$ , конструкции покрываются слоем льда и бетон не подвергается циклам ПЗО. Различные механизмы замораживания бетона на характерных участках зоны переменного уровня предопределяют различные механизмы разрушения бетона. Поэтому технологические решения по организации бетонных

работ целесообразно принимать с учетом реальной работы бетона в сооружении. На этой основе, очевидно, следует строить программу совершенствования технологии бетона и прогнозирования долговечности.

Полученные результаты свидетельствуют, что определяющая роль в процессах разрушения отводится механизму замораживания бетона. Следовательно, в условиях южного побережья не всегда циклы ПЗО являются определяющим критическим показателем внешних воздействий для бетона в зоне переменного уровня воды портовых сооружений.

Результаты исследования подтверждают известный факт, что для обеспечения долговечности бетона в конструкциях портовых сооружений при морозных воздействиях важно обеспечить долговечность в первый зимний сезон. На практике часто наблюдается именно это разрушение. При этом оно может носить глобальный характер. Однако этому виду разрушения не уделяют должного внимания, поскольку это не связано с многократными циклами ПЗО.

Следует отметить, что этот вид разрушения происходит в зоне всплеска волн (рис. 2, участок В и С), где происходит обледенение и преобладающим видом морозного воздействия являются температура замораживания ( $t_F$ ) и продолжительность замораживания ( $T_F$ ). В зоне действия отлива–прилива (участок А) такие разрушения не наблюдаются. Анализ экспериментальных данных показывает, что циклы ПЗО являются определяющим критическим показателем суровости внешних воздействий в зоне переменного уровня воды при температуре замораживания ниже  $-10$ – $15^\circ\text{C}$ . При температуре замораживания бетона до  $-8^\circ\text{C}$  на участке действия прилива и отлива морской воды, очевидно, создаются условия для дальнейшего формирования морозостойкой структуры бетона и нагрузки от внешних воздействий не являются предельными.

Исходя из общепринятых теоретических положений о морозном разрушении, на участках В и С (рис. 2) при длительном обледенении бетона создаются условия для влагопереноса в порах к границе промерзания. За счет этого в порах бетона может происходить водонасыщение до критической степени. В результате на границе промерзания создаются условия для разрушения бетона вида  $P_{C2}$ .

Этот вид разрушения можно наблюдать на бортовых камнях при эксплуатации дорог с использованием антиобледенителей. Исходя из того, что наиболее агрессивными считают растворы с содержанием солей 2–3% и учитывая, что соленость морской воды дальневосточных морей составляет 31–33‰, т. е. 3–3,3%, бетон портовых сооружений подвержен воздействию раствора высокой агрессивности. Поэтому

результаты исследования долговечности бетона морских портовых сооружений на о. Сахалине, очевидно, в определенных случаях можно учитывать при изучении долговечности бетона конструкций автодорог в условиях воздействия антиобледенителей.

### Выводы

Результаты исследований показывают, что решение проблемы долговечности портовых сооружений на основе повышения морозостойкости не всегда является обоснованным.

В зоне переменного уровня воды бетон подвержен воздействию двух механизмов замораживания: на участке действия отлива–прилива уровень нагрузки от внешних воздействий определяется суровостью многократных циклов ПЗО, на участке действия всплеска волны нагрузка определяется температурой и длительностью периода обледе-

нения. Исходя из этого в первом случае, очевидно, преобладает механизм гидравлического давления воды, во втором – механизм кристаллизационного давления льда.

Установлено, что определяющим критическим параметром внешних воздействий в условиях, когда преобладают циклы ПЗО, является температура замораживания бетона; при температуре замораживания ниже  $-15^{\circ}\text{C}$  долговечность можно прогнозировать стандартными марками морозостойкости. В условиях длительного обледенения определяющим параметром долговечности бетона является наличие свободной воды, способной к влагопереносу в порах к границе промерзания и льдообразованию.

Информация, полученная на основе изучения реальной работы бетона в сооружении, позволила сформулировать концепцию для разработки модели прогноза долговечности бетона.

### Список литературы

1. Malyuk V., Prognostication of concrete constructions durability based on experience in building and exploitation of maritime coast-protecting structures on Sakhalin Island (on the issue of determining the estimated lifetime of maritime structures). *MATEC Web of Conferences*. 2019. Vol. 265. 02014. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201926502014>
2. Malyuk V., Degradation and sudden failure of concrete structures of marine hydraulic structures in severe hydrometeorological conditions. *Far East Con-2018. International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 463. 022071. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/463/2/022071>
3. Малюк В.В. Прогнозирование долговечности конструкций морских гидротехнических сооружений из бетона по опыту строительства и эксплуатации в суровых климатических условиях. *Проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы VIII Национальной конференции с международным участием*. Саратов: Наука, 2018. С. 223–231.
4. Малюк В.В., Леонович С.Н., Будревич Н.А. Прогноз долговечности морских берегозащитных сооружений // *Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров. Сборник научных статей XXI Международного научно-методического семинара*. Брест. 25–26 октября 2018 г.
5. Малюк В.В., Леонович С.Н., Будревич Н.А. Конструкционный бетон морских гидротехнических сооружений: деградационный и внезапный отказ.

### References

1. Malyuk V., Prognostication of concrete constructions durability based on experience in building and exploitation of maritime coast-protecting structures on Sakhalin Island (on the issue of determining the estimated lifetime of maritime structures). *MATEC Web of Conferences*. 2019. Vol. 265. 02014. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201926502014>
2. Malyuk V., Degradation and sudden failure of concrete structures of marine hydraulic structures in severe hydrometeorological conditions. *Far East Con-2018. International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 463. 022071. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/463/2/022071>
3. Malyuk V.V., Prediction of the durability of structures of marine hydraulic structures made of concrete based on the experience of construction and operation in harsh climatic conditions. *Problems and prospects for the development of construction, heat and gas supply and energy supply: Proceedings of the VIII National Conference with international participation*. Saratov: «Science». 2018, pp. 223–231. (In Russian).
4. Malyuk V.V., Leonovich S.N., Budrevich N.A. Forecast of the durability of marine coastal protection structures. *Perspective directions of innovative development of construction and training of engineering personnel. Collection of scientific articles of the XXI International Scientific and Methodological Seminar*. Brest. October 25–26, 2018. (In Russian).
5. Malyuk V.V., Leonovich S.N., Budrevich N.A. Structural concrete of marine hydraulic structures:

- Архитектурно–строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации: электрон. сборник статей междунар. науч. конф., посвящ. 50-летию Полоц. гос. ун-та.* Новополоцк. 5–6 апреля 2018. С. 70.
6. Малуик В.В., Леонович С.Н., Будревич Н.А. Расчетный срок службы морских берегозащитных сооружений. *Архитектурно–строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации: электрон. сборник статей междунар. науч. конф., посвящ. 50-летию Полоц. гос. ун-та.* Новополоцк, 5–6 апреля 2018 г. С. 77.
  7. Малуик, В.В. Морозостойкость бетона при различных методах испытаний. *Проблемы современного строительства: материалы Международной научно-технической конференции.* Минск. 28 мая 2019 г. С. 246–256.
  8. Леонович С.Н., Малуик В.В. Расчет-прогноз срока службы конструкционного бетона: циклическое замораживание-оттаивание в зоне переменного уровня моря. *Проблемы современного строительства: материалы Международной научно-технической конференции.* Минск. 30 мая 2018 г. С. 375–381.
  9. Malyuk V.V. Longevity of concrete maritime structures in harsh service environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* Vol. 1079. Chapter 1. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/2/022017>
  10. Малуик В.В., Митина В.И. Стабильность технологических показателей бетонной смеси с воздухововлекающими добавками при длительной транспортировке. *Сборник трудов V Международной научно–практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО «СибАДИ».* Омск, 2020.
  11. Малуик В.В. Концепция долговечности бетона для прогноза срока службы конструкций в условиях морозного воздействия // *Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета.* 2020. № 4 (45). С. 105–115.
  12. Малуик В.В., Малуик В.Д. Механизмы замораживания бетона в зоне переменного уровня воды портовых сооружений. *Сборник конференции Far East Con–2021.*
  13. Малуик В.В., Малуик В.Д., Лободюк А.В. Условия эксплуатации и повреждения бетона портовых сооружений на южном побережье Сахалина. *Сборник конференции Far East Con–2021.*
  14. Малуик В.В., Малуик В.Д. Долговечность бетона в зоне переменного уровня портовых сооружений, эксплуатируемых на побережье о. Сахалин. *Все-российская научно-практическая конференция «Безопасность инженерных сооружений в регионах со сложными природными условиями».* Владивосток, 2021.
- degradation and sudden failure. *Architectural and building complex: problems, prospects, innovations: electron. collection of articles int. scientific conf., dedicated 50th anniversary of Polots. state university Novopolotsk.* April 5–6, 2018, p. 70. (In Russian).
6. Malyuk V.V., Leonovich S.N., Budrevich N.A. Estimated service life of offshore coastal protection structures. *Architectural and building complex: problems, prospects, innovations: electron. collection of articles int. scientific conf., dedicated 50th anniversary of Polots. state university Novopolotsk.* April 5–6, 2018, p. 77.
  7. Malyuk V.V. Frost resistance of concrete under various test methods. *Problems of Modern Construction: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference.* Minsk. May 28, 2019, pp. 246–256. (In Russian).
  8. Leonovich S.N., Malyuk V.V. Calculation-forecast of the service life of structural concrete: cyclic freezing-thawing in the zone of variable sea level. *Problems of Modern Construction: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference.* Minsk. May 30, 2018, pp. 375–381. (In Russian).
  9. Malyuk V.V. Longevity of concrete maritime structures in harsh service environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* Vol. 1079. Chapter 1. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/2/022017>
  10. Malyuk V.V., Mitina V.I. Stability of technological parameters of concrete mixture with air-entraining additives during long-term transportation. *Proceedings of the V International scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of FGBOU VO «SibADI».* Omsk. 2020.
  11. Malyuk V.V. The concept of durability of concrete for predicting the service life of structures under frost exposure. *Vestnik of the Engineering School of the Far Eastern Federal University.* 2020. No. 4 (45). pp. 105–115.
  12. Malyuk V.V., Malyuk V.D., Mechanisms of concrete freezing in the zone of variable water level of port facilities. *Collection of the conference Far East Con–2021.*
  13. Malyuk V.V., Malyuk V.D., Lobodyuk A.V., Operating conditions and damage to concrete of port facilities on the southern coast of Sakhalin. *Collection of the conference Far East Con–2021.*
  14. Malyuk V.V., Malyuk V.D., Durability of concrete in the zone of variable level of port facilities operated on the coast of the island. Sakhalin. *All–Russian Scientific and Practical Conference «Safety of Engineering Structures in Regions with Difficult Natural Conditions».* Vladivostok. 2021.

С.А. ЗЕНИН, канд. техн. наук (lab01@mail.ru), К.Л. КУДЯКОВ, канд. техн. наук (konst\_k@mail.ru),  
О.В. КУДИНОВ, инженер

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона –  
НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6)

## Оценка влияния бетонов на заполнителях по ГОСТ 32703–2014 на прочностные и деформативные свойства изгибаемых железобетонных конструкций

В НИИЖБ им. А.А. Гвоздева была выполнена научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа (НИОКР), одной из задач которой ставилась оценка влияния крупного заполнителя по ГОСТ 32703–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Технические требования» на прочностные свойства железобетонных конструкций. В рамках исследования выполнена экспериментальная и теоретическая оценка влияния крупного заполнителя по ГОСТ 32703–2014 на прочность нормальных и наклонных сечений изгибаемых элементов. Проведен сравнительный анализ с прочностью изгибаемых элементов, изготовленных на крупном заполнителе по ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия». По результатам исследований установлено, что замена крупного заполнителя с ГОСТ 8267–93 на заполнитель по ГОСТ 32703–2014 в изгибаемых железобетонных конструкциях практически не оказывает влияния на прочность нормальных и наклонных сечений. При этом оценка деформативности показала наличие отклонений более 20%. С учетом этого были сформулированы предложения по проведению дальнейших более детальных исследований деформативности конструкций с заполнителем по ГОСТ 32703–2014.

**Ключевые слова:** бетон, железобетон, прочность, деформативность, изгибаемый элемент, крупный заполнитель.

**Для цитирования:** Зенин С.А., Кудяков К.Л., Кудинов О.В. Оценка влияния бетонов на заполнителях по ГОСТ 32703–2014 на прочностные и деформативные свойства изгибаемых железобетонных конструкций // *Бетон и железобетон*. 2022. № 1 (609). С. 10–16. DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-10-16>

S.A. ZENIN, Candidate of Sciences (Engineering) (lab01@mail.ru), K.L. KUDYAKOV, Candidate of Sciences (Engineering), O.V. KUDINOV, Engineer  
Research, Design and Technological Institute of Concrete and Reinforced Concrete – NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC “Research Center “Stroitel’stvo”  
(6, build. 5, 2-nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

### Evaluation of the Influence of Concretes on Aggregates According to GOST 32703–2014 on the Strength and Deformative Properties of Bent Reinforced Concrete Structures

Research and development work was carried out at the A.A. Gvozdev NIIZHB, one of the tasks of which was to assess the impact of a large aggregate according to GOST 32703–2014 “Public automobile roads. Crushed stone and gravel from rocks. Technical requirements” for the strength properties of reinforced concrete structures. As part of the study, an experimental and theoretical assessment of the effect of a large filler according to GOST 32703–2014 on the strength of normal and inclined sections of bent elements was performed. A comparative analysis with the strength of the bent elements made with a large aggregate according to GOST 8267–93 “Crushed stone and gravel from dense rocks for construction works. Technical conditions”. According to the research results, it was found that the replacement of a large aggregate with GOST 8267 with aggregate GOST 32703 in bent reinforced concrete structures has practically no effect on the strength of normal and inclined sections. At the same time, the assessment of deformability showed the presence of deviations of more than 20%. With this in mind, proposals were formulated for further more detailed studies of the deformability of structures with filler according to GOST 32703–2014.

**Keywords:** concrete, reinforced concrete, strength, deformability, bendable element, large aggregate.

**For citation:** Zenin S.A., Kudiyakov K.L., Kudinov O.V. Evaluation of the influence of concretes on aggregates according to GOST 32703–2014 on the strength and deformative properties of bent reinforced concrete structures. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2022. No. 1. (609), pp. 10–16. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-10-16>

В настоящее время в нашей стране действуют два стандарта, регламентирующих производство щебня из горных пород, – ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия» (далее – ГОСТ 8267) и ГОСТ 32703–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Технические требования» (далее – ГОСТ 32703). В ГОСТ 8267 содержатся требования к щебню и гравию из горных пород, применяемым в качестве

заполнителей для тяжелого бетона, т. е. для общестроительных работ. Требования ГОСТ 32703 предъявляются к щебню и гравию из горных пород, применяемым конкретно в дорожном строительстве.

Таким образом, на строительном рынке сложилась ситуация, когда производители щебня имеют возможность изготавливать щебень по двум стандартам. При этом действующая нормативная база по проектированию бетонных и железобетонных конструкций предусматривает возможность приме-

нения щебня только по ГОСТ 8267. В связи с этим возникают вопросы о возможности применения щебня, произведенного в соответствии с требованиями ГОСТ 32703, влиянии его на поведение конструкций из бетона и железобетона под эксплуатационной нагрузкой, прочностные и деформативные характеристики элементов, включая влияние на сцепление арматуры с бетоном, содержащим щебень по ГОСТ 32703.

С целью оценки возможности применения крупного заполнителя по ГОСТ 32703 в изгибаемых железобетонных конструкциях НИИЖБ им. А.А. Гвоздева были проведены экспериментальные исследования опытных образцов.

Предварительно проведенный анализ отечественной (СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01–2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» [1–8] и зарубежной нормативной базы [10–11] показал, что подход к оценке влияния крупного заполнителя на характеристики бетона достаточно сходен. В общем случае крупность заполнителя влияет в первую очередь на деформативные характеристики бетонов, изменяющиеся в зависимости от протекающих процессов ползучести, усадки, а также длительности действия нагрузок, что нашло отражение как в отечественных, так и зарубежных нормах. В европейских нормах при этом имеются более детальные указания по назначению начального модуля упругости бетона в зависимости от вида крупного заполнителя. В расчетных методиках по предельным состояниям данные особенности отражены в расчетах по эксплуатационной пригодности. В части расчетов конструкций по прочности учет влияния заполнителя практически отсутствует. Также во всех рассмотренных нормах предусмотрен учет влияния размера заполнителя на качество бетонирования; по этой причине нормами предусмотрен ряд конструктивных требований по назначению величин защитного слоя бетона и расстояния в свету между арматурными стержнями в зависимости от максимального размера крупного заполнителя.

В рамках НИОКР была разработана программа исследований с учетом результатов предварительного анализа литературных источников, включающая испытания балочных элементов. При этом рассмотрены различные схемы и формы их разрушения в зависимости от исследуемых воздействий. Для балочных элементов было предусмотрено получение схем разрушения по нормальным сечениям от действия изгибающих моментов и по наклонным сечениям от действия поперечных сил; определение прогибов проводилось по методике ГОСТ 8829–2018 «Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний

нагрузением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости».

Для оценки влияния бетонов, изготовленных с использованием щебня по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703, на деформативные и прочностные свойства железобетонных конструкций были приняты опытные образцы в виде балочных элементов с поперечным сечением простой прямоугольной формы.

Для оценки возможных схем разрушения выполнены предварительные теоретические расчеты опытных элементов согласно СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01–2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».

Геометрические параметры железобетонных балок и их конструктивные решения приняты на основании анализа отечественных и зарубежных исследований и нормативно-технических документов, результатов предварительных расчетов, а также возможностей испытательного оборудования.

Испытания балок проводились на гидравлическом прессе Instron 1000 HDX, нагрузка прикладывалась ступенями, равными 1/10 от теоретической разрушающей нагрузки.

Для проведения испытаний на изгиб были изготовлены образцы из бетона классов по прочности при сжатии В25 и В60 с применением щебня по ГОСТ 8267 (серия 1.1) и ГОСТ 32703 (серия 1.2). При этом фактические классы бетонов несколько отличались от заданных, что было учтено при определении соответствующих несущих способностей образцов при их теоретической оценке.

Образцы для оценки прочности нормальных сечений представляют собой балки длиной 1500 мм с размерами поперечного сечения 120×220 (h) мм, армированные стержнями диаметром 12 мм класса А500 в сжатой и растянутой зонах. В качестве поперечной арматуры принята арматура класса А240 диаметром 6 мм, расположенная с шагом 50 мм.

Образцы для оценки прочности наклонных сечений представляют собой балки длиной 1500 мм с размерами поперечного сечения 120×250 (h) мм, армированные в сжатой зоне стержнями диаметром 16 мм класса А500, а в растянутой зоне для балок из бетона класса В25 – диаметром 16 мм класса А500; для балок из бетона класса В60 – диаметром 20 мм класса А500. В качестве поперечной арматуры принята арматура класса А240 диаметром 6 мм, расположенная с шагом 50 мм. Количество образцов и их заданные характеристики представлены в табл. 1.

Схемы испытания образцов приведены на рис. 1 и 2.

Проведенные испытания опытных образцов серии 1 показали, что характер разрушения для всех образцов соответствует ожидаемому. В табл. 2 и 3 приведены основные параметры опытных образцов,

Таблица 1  
Table 1

Заданные характеристики образцов для испытаний при изгибе  
Characteristics of bending test samples

Шифр партии образцов	Количество образцов в партии	Щебень в составе бетона по ГОСТ	Класс бетона	Поперечное сечение ( $b \times h$ ), мм
1.1-1	2	8267	B25	120×220
1.1-2	2	8267	B25	120×250
1.1-3	2	8267	B60	120×220
1.1-4	2	8267	B60	120×250
1.2-1	2	32703	B25	120×220
1.2-2	2	32703	B25	120×250
1.2-3	2	32703	B60	120×220
1.2-4	2	32703	B60	120×250

а также результаты сравнительного анализа соответствующих опытных и теоретических значений несущих способностей (по нормальному и наклонному сечению).

Сравнительный анализ опытных образцов, разрушившихся по нормальному сечению, показал, что значения разрушающих нагрузок для соответствующей пары близнецов близки, разница между ними (откл.  $P_{on}$ ) практически отсутствует и составляет не более 5%. Для пар опытных образцов, разрушенных по наклонному сечению, данные значения имеют несколько большую разницу в пределах от 3 до 12%.

**Разрушение по нормальному сечению**

Сравнительный анализ результатов испытаний аналогичных образцов при разных составах (на щебне по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703) и разрушении по нормальному сечению показал следующее. При средней кубиковой прочности порядка 36 МПа (образцы партий 1.1-1 и 1.2-1) разница между опытными разрушающими нагрузками в парах-близнецах (партиях) образцов составляет не более 5%. Сравнение средних значений разрушающих нагрузок показало, что нагрузки для образцов со щебнем по ГОСТ 8267 на 5% ниже, чем для образцов со щебнем по ГОСТ 32703. Сравнение фактической несущей способности данных балок по нормальному сечению с теоретическими значениями, определенными по СП 63.13330.2018, показало незначительное отклонение в пределах 5%, причем опытные значения выше теоретических.

При средней кубиковой прочности около 73 МПа (образцы партий 1.1-3 и 1.2-3) разница между опытными разрушающими нагрузками образцов-близнецов не превышает 3%. Сравнение средних значений разрушающих нагрузок показало, что они практически идентичны: для образцов со щебнем по ГОСТ 8267 средние разрушающие нагрузки на 3% выше, чем для образцов со щебнем по ГОСТ 32703.

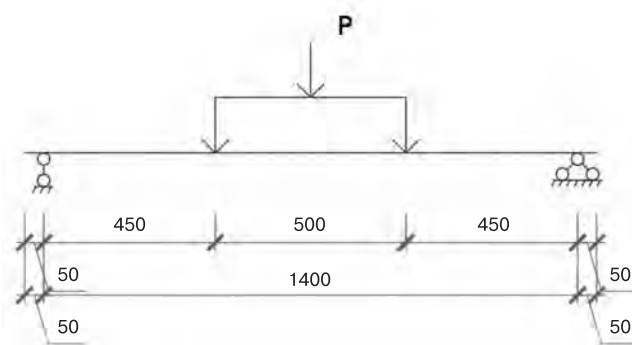


Рис. 1. Схема испытаний партий образцов с шифрами 1.1-1; 1.1-3; 1.2-1 и 1.2-3

Fig. 1. Scheme of testing batches of samples with ciphers 1.1-1; 1.1-3; 1.2-1 and 1.2-3

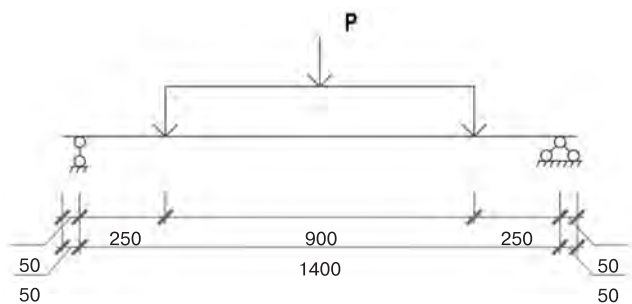


Рис. 2. Схема испытаний партий образцов с шифрами 1.1-2; 1.1-4; 1.2-2 и 1.2-4

Fig. 2. Scheme of testing batches of samples with ciphers 1.1-2; 1.1-4; 1.2-2 and 1.2-4

При этом сравнение опытных и теоретических несущих способностей по нормальному сечению для указанных партий образцов показало, что теоретические значения несколько ниже: от 3 до 10%. Причем в образце 1.1-3(1) теоретическая несущая способность оказалась на 16% ниже, чем фактическая. Данное обстоятельство можно объяснить тем, что значение толщины защитного слоя бетона, учитываемого в теоретических расчетах, замерялось после испытаний и в данном образце при разрушении произошло некоторое смещение каркаса.

Таблица 2  
Table 2

Основные данные и сравнение результатов испытаний опытных образцов, разрушившихся по нормальному сечению  
Basic data and comparison of test results of prototypes destroyed by normal cross-section

№ п/п	Шифр образца	Щебень в составе бетона по ГОСТ	$R_m$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$A'_s$ , мм <sup>2</sup>	$A_s$ , мм <sup>2</sup>	$a$ , мм	$a'$ , мм	$h_0$ , мм	$P_{on}$ , кН	$M_{on}$ , кН×м	$M_m$ , кН×м	$\frac{M_m}{M_{on}}$	Откл. $P_{on}$ в партии	$P_{on.cp,j}$ , кН	$\frac{P_{on.cp} 8267}{P_{on.cp} 32703}$
1	1.1-1(1)	8267	37,2	584	226	226	24	26	193	98,5	22,16	22,3	1,01	0,99	99,25	0,95
2	1.1-1(2)	8267	37,2	584	226	226	27	23	189	100	22,50	21,4	0,95			
3	1.2-1(1)	32703	34,9	584	226	226	21	29	195	106,7	24,01	23	0,96	1,05	104,05	
4	1.2-1(2)	32703	34,9	584	226	226	20	30	194	101,4	22,82	23	1,01			
5	1.1-3(1)	8267	73,3	584	226	226	30	20	184	108,1	24,32	20,33	0,84	1	108,2	1,03
6	1.1-3(2)	8267	73,3	584	226	226	21	28	194	108,3	24,37	22,83	0,94			
7	1.2-3(1)	32703	72,3	584	226	226	25	29	189	106,5	23,96	21,65	0,9	1,03	104,7	
8	1.2-3(2)	32703	72,3	584	226	226	22	32	192	102,9	23,15	22,44	0,97			

**Примечания:**  $R_m$  – средняя кубиковая прочность бетона;  $\sigma_T$  – предел текучести продольной арматуры;  $A'_s$  – площадь сжатой арматуры;  $A_s$  – площадь растянутой арматуры;  $a$  – толщина защитного слоя бетона у растянутой грани;  $a'$  – толщина защитного слоя бетона у сжатой грани;  $h_0$  – рабочая высота сечения;  $P_{on}$  – опытная разрушающая нагрузка;  $M_{on}$  – изгибающий момент в нормальном сечении от опытной разрушающей нагрузки;  $M_m$  – теоретический предельный изгибающий момент в нормальном сечении;  $P_{on.cp,j}$  – среднее по партии образцов значение опытной разрушающей нагрузки, где  $j$  характеризует щебень в составе бетона по ГОСТ 8267 или 32703.

В целом по результатам проведенных испытаний образцов можно увидеть хорошую сходимость между опытными результатами и результатами теоретических расчетов, выполненных по методике СП 63.13330.2018, для конструкций, изготовленных из бетонов с использованием щебня по ГОСТ 8267 и

ГОСТ 32703. Независимо от класса бетона по прочности разница экспериментальных значений несущей способности для данных образцов, имеющих в составе бетона щебень по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703, не превышает 5%. Теоретические значения соответствующих несущих способностей по нормальному

Таблица 3  
Table 3

Основные данные и сравнение результатов испытаний опытных образцов, разрушившихся по наклонному сечению  
Basic data and comparison of test results of prototypes that collapsed along an inclined section

№ п/п	Шифр образца	Щебень в составе бетона по ГОСТ	$R_m$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$A_{sw}$ , мм <sup>2</sup>	$s_w$ , мм	$a$ , мм	$a'$ , мм	$h_0$ , мм	$P_{on}$ , кН	$Q_{on}$ , кН	$Q_m$ , кН	$\frac{Q_m}{Q_{on}}$	Откл. $P_{on}$ в партии	$P_{on.cp,j}$ , кН	$\frac{P_{on.cp} 8267}{P_{on.cp} 32703}$
1	1.1-2(1)	8267	37,2	314	57	50	22	25	219	218,1	109,05	84,2	0,77	1,12	206,65	0,97
2	1.1-2(2)	8267	37,2	314	57	50	24	31	184	195,2	97,6	83,9	0,86			
3	1.2-2(1)	32703	34,9	314	57	50	28	22	217	210,7	105,35	77,8	0,74	0,97	214	
4	1.2-2(2)	32703	34,9	314	57	50	26	21	189	217,3	108,65	79,8	0,73			
5	1.1-4(1)	8267	73,3	314	57	50	23	25	218	251	125,5	109,7	0,87	1,03	247,2	0,96
6	1.1-4(2)	8267	73,3	314	57	50	24	24	195	243,4	121,7	112,5	0,92			
7	1.2-4(1)	32703	72,3	314	57	50	20	25	219	246,4	123,2	111,7	0,91	0,91	258,3	
8	1.2-4(2)	32703	72,3	314	57	50	21	25	189	270,2	135,1	109,9	0,81			

**Примечания:**  $R_m$  – средняя кубиковая прочность бетона;  $\sigma_T$  – предел текучести продольной арматуры;  $A_{sw}$  – площадь поперечной арматуры;  $s_w$  – шаг поперечной арматуры;  $a$  – толщина защитного слоя бетона у растянутой грани;  $a'$  – толщина защитного слоя бетона у сжатой грани;  $h_0$  – рабочая высота сечения;  $P_{on}$  – опытная разрушающая нагрузка;  $Q_{on}$  – поперечная сила в наклонном сечении от опытной разрушающей нагрузки;  $Q_m$  – теоретическая предельная поперечная сила в наклонном сечении;  $P_{on.cp,j}$  – среднее по партии образцов значение опытной разрушающей нагрузки, где  $j$  характеризует щебень в составе бетона по ГОСТ 8267 или 32703.

Таблица 4  
Table 4

Сравнение результатов испытаний опытных образцов по прогибам на 6-м этапе нагружений  
Comparison of test results of prototypes on deflections at the 6<sup>th</sup> stage of loading

№ п/п	Шифр образца	Щебень в составе бетона по ГОСТ	Основные габариты, l×b×h, мм	$R_m$ , МПа	$P_{on,i}$ , кН	$f_{on,i}$ , мм	откл. $f_{on,i}$ в партии	$f_{on,i,cp,j}$ , кН	$\frac{f_{on,i,cp,8267}}{f_{on,i,cp,32703}}$
1	1.1-1(1)	8267	1505×120×223	37,2	55,9	3,4	1,02	3,36	0,95
2	1.1-1(2)	8267	1499×119×222	37,2	55,9	3,32			
3	1.2-1(1)	32703	1498×121×222	34,9	55,9	3,95	0,99	3,96	
4	1.2-1(2)	32703	1501×120×220	34,9	55,9	3,97			
5	1.1-3(1)	8267	1502×120×220	73,3	56,4	3,77	1,13	3,55	1,14
6	1.1-3(2)	8267	1500×118×221	73,3	56,4	3,34			
7	1.2-3(1)	32703	1502×121×220	72,3	55,9	3,53	1,03	3,48	
8	1.2-3(2)	32703	1501×119×220	72,3	55,9	3,43			

**Примечания:**  $R_m$  – средняя кубиковая прочность бетона;  $i$  – этап нагружения;  $P_{on,i}$  – опытная нагрузка на этапе нагружения  $i$ ;  $f_{on,i}$  – прогиб от опытной нагрузки на этапе нагружения  $i$ ;  $f_{on,i,cp,j}$  – среднее по партии образцов значение прогиба на этапе нагружения  $i$ , где  $j$  характеризует щебень в составе бетона по ГОСТ 8267 или 32703.

сечению, полученные для экспериментальных образцов, не превышают опытных значений.

**Разрушение по наклонному сечению**

Сравнительный анализ результатов испытаний аналогичных партий образцов с разным составом бетона при разрушении по наклонному сечению показал следующее.

При средней кубиковой прочности порядка 36 МПа разница между опытными разрушающими нагрузками в парах-близнецах образцов партии 1.2-1 составляет 3%, а в партии 1.1-2 – до 12%. Учитывая, что в остальных образцах этого не наблюдается, такое отклонение можно объяснить некоторой неточностью изготовления каркасов, их незначительным смеще-

нием при установке в опалубку и бетонировании образцов. Сравнение средних значений разрушающих нагрузок показало, что нагрузки для образцов со щебнем по ГОСТ 8267 на 3% ниже, чем для образцов со щебнем по ГОСТ 32703. Сравнение фактической несущей способности данных образцов по наклонному сечению с теоретическими значениями, определенными согласно СП 63.13330.2018, показало, что методика СП 63.13330 дает более осторожные значения.

При средней кубиковой прочности около 73 МПа (образцы партий 1.1-4 и 1.2-4) разница между опытными разрушающими нагрузками в парах-близнецах составляет от 3 до 9%. Сравнение средних значений разрушающих нагрузок показало, что нагрузки

Таблица 5  
Table 5

Сравнение результатов испытаний опытных образцов по прогибам на 10-м этапе нагружений  
Comparison of test results of prototypes on deflections at the 10<sup>th</sup> stage of loading

№ п/п	Шифр образца	Щебень в составе бетона по ГОСТ	Основные габариты, l×b×h, мм	$R_m$ , МПа	$P_{on,i}$ , кН	$f_{on,i}$ , мм	откл. $f_{on,i}$ в партии	$f_{on,i,cp,i}$ , мм	$\frac{f_{on,i,cp,8267}}{f_{on,i,cp,32703}}$
1	1.1-1(1)	8267	1505×120×223	37,2	91,9	6,93	0,34	13,7	1,23
2	1.1-1(2)	8267	1499×119×222	37,2	91,9	20,47			
3	1.2-1(1)	32703	1498×121×222	34,9	91,9	7,13	0,47	11,175	
4	1.2-1(2)	32703	1501×120×220	34,9	91,9	15,22			
5	1.1-3(1)	8267	1502×120×220	73,3	92,4	13,63	1,12	12,885	1,13
6	1.1-3(2)	8267	1500×118×221	73,3	92,4	12,14			
7	1.2-3(1)	32703	1502×121×220	72,3	91,9	7,64	0,5	11,43	
8	1.2-3(2)	32703	1501×119×220	72,3	91,9	15,22			



для образцов со щебнем по ГОСТ 8267 на 4% ниже, чем для образцов со щебнем по ГОСТ 32703. При этом сравнение опытных и теоретических несущих способностей по наклонному сечению для указанных партий образцов показало, что теоретические значения несколько ниже фактических значений – в среднем на 12%.

В целом по результатам проведенных испытаний образцов можно увидеть весьма хорошую сходимость между опытными результатами и результатами теоретических расчетов, выполненных по методике СП 63.13330.2018 для конструкций, изготовленных из бетонов с использованием щебня по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703. Независимо от класса бетона по прочности разница экспериментальных значений несущей способности для данных образцов, имеющих в составе бетона щебень по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703, не превышает 4%, что в целом можно считать разбросом опытных данных. Теоретические значения соответствующих несущих способностей по наклонному сечению, полученные по методике СП 63.13330.2018 для экспериментальных образцов, не превышают опытных значений.

#### **Оценка деформативности**

Сравнительный анализ результатов испытаний образцов по прогибам показал следующее. На начальных этапах нагружений отклонения в партиях образцов-близнецов незначительны и не превышают 13% (табл. 4). При средней кубиковой прочности около 36 МПа средние значения прогибов образцов со щебнем по ГОСТ 8267 на 5% ниже, чем для образцов со щебнем по ГОСТ 32703. При средней кубиковой прочности около 72 МПа на начальных этапах прогибы образцов со щебнем по ГОСТ 8267 на 15% выше, чем для образцов со щебнем по ГОСТ 32703.

С увеличением нагрузки и приближением ее к разрушающей (табл. 5) отклонения в партиях образцов-близнецов значительно увеличиваются. При средней кубиковой прочности около 36 МПа средние значения прогибов образцов со щебнем по ГОСТ 8267 на 23% выше, чем для образцов со щебнем по ГОСТ 32703, а при средней кубиковой прочности около 72 МПа – на 13% выше, чем для образцов со щебнем по ГОСТ 32703.

В целом по результатам проведенных испытаний образцов можно увидеть весьма хорошую сходимость между опытными результатами для конструкций, изготовленных из различных бетонов на начальных этапах нагружения (разница 5–14%). При нагрузках, приближенных к разрушающим, разница между опытными значениями прогибов образцов увеличивается до 13–23%, при этом прогибы образ-

цов по ГОСТ 32703 не превышают значений прогибов образцов по ГОСТ 8267.

Независимо от класса бетона по прочности разница экспериментальных значений прогибов для данных образцов, имеющих в составе бетона щебень по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703, на начальных этапах нагружения составляет 5–14%. При нагрузках, приближенных к разрушающим, расхождение увеличивается до 13–23%, при этом прогибы образцов со щебнем по ГОСТ 32703 не превышают аналогичных значений у образцов с щебнем по ГОСТ 8267.

#### **Выводы**

При оценке прочности изгибаемых элементов по результатам проведенных испытаний образцов установлена весьма хорошая сходимость между опытными результатами, а также опытными данными и результатами теоретических расчетов, выполненными по методике СП 63.13330.2018 для конструкций, изготовленных из тяжелых бетонов классов В25 и В60 с использованием щебня по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703.

Разница экспериментальных значений несущей способности для образцов одного проектного класса бетона, имеющего в своем составе щебень по ГОСТ 8267 или ГОСТ 32703, не превышает 3–5%. Теоретические значения соответствующих несущих способностей изгибаемых элементов по нормальному сечению, полученные для экспериментальных образцов, не превышают опытных значений.

Анализ оценки прочности наклонных сечений показал, что по результатам проведенных испытаний образцов также наблюдается весьма хорошая сходимость между опытными результатами, а также опытными и результатами теоретических расчетов, выполненных по методике СП 63.13330.2018 для конструкций, изготовленных из бетонов с использованием щебня по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703. Разница экспериментальных значений несущей способности по наклонным сечениям для образцов одного проектного класса бетона, имеющего в своем составе щебень по ГОСТ 8267 или ГОСТ 32703, не превышает 4%, что в целом можно считать разбросом опытных данных. Теоретические значения соответствующих несущих способностей по наклонному сечению, полученные по методике СП 63.13330.2018 для экспериментальных образцов, не превышают опытных значений.

Таким образом, можно заключить, что замена крупного заполнителя, изготовленного по ГОСТ 8267, на заполнитель, изготовленный по ГОСТ 32703, в изгибаемых железобетонных конструкциях практически не оказывает влияния на прочность нормальных и наклонных сечений.

Сравнительный анализ результатов испытаний аналогичных образцов по прогибам при разных со-

ставах бетона показал следующее. В целом по результатам проведенных испытаний образцов можно увидеть весьма хорошую сходимость между опытными результатами для конструкций, изготовленных из бетонов с использованием щебня по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703.

Для партий образцов одного проектного класса бетона разница экспериментальных значений прогибов, имеющих в составе бетона щебень по ГОСТ 8267 и ГОСТ 32703, на начальных этапах нагружения составляет 5–14%. При нагрузках, приближенных к разрушающим, расхождение увеличивается до 13–23%, при этом прогибы образцов со щебнем по

ГОСТ 32703 не превышают аналогичных значений у образцов со щебнем по ГОСТ 8267.

Учитывая полученный разброс опытных данных, в том числе по парам-близнецам внутри партий образцов, и тенденцию к его увеличению с ростом нагрузки, рекомендуется проведение дополнительных более расширенных исследований по оценке влияния бетонов с применением щебня по ГОСТ 32703 на деформативность (прогибы) изгибаемых железобетонных элементов. Также необходимо провести исследования по оценке влияния бетонов на заполнителях по ГОСТ 32703 на трещиностойкость бетонных и железобетонных конструкций.

### Список литературы

1. Прочность, структурные изменения и деформации бетона // Под ред. А.А. Гвоздева. М.: НИИЖБ, Стройиздат, 1978. С. 299.
2. Зошук Н.И. Влияние крупности заполнителя на прочность бетона // *Бетон и железобетон*. 1988. № 1. С. 8–9.
3. Элшин И.М., Мироненко И.И. О пределе применимости гравия для бетона и о переходе на щебень // *Бетон и железобетон*. 1963. № 4. С. 173–176.
4. Сизов В.П. Определение оптимального соотношения фракций щебня // *Бетон и железобетон*. 1968. № 11. С. 28–29.
5. Гордон С.С. Структура и свойства тяжелых бетонов на различных заполнителях. М.: Стройиздат, 1969. С. 152.
6. Пеев А., Табаков С., Цановски С. Об оптимальном соотношении фракции крупного заполнителя для бетона // *Бетон и железобетон*. 1971. № 1. С. 45–47.
7. Миронов С.А., Малинский Е.Н., Вахитов М.М. Влияние крупного заполнителя на термоморозостойкость тяжелого бетона в условиях сухого жаркого климата // *Бетон и железобетон*. 1981. № 11. С. 27–28.
8. Гвоздев А.А., Залесов А.С., Титов И.А. Силы зацепления в наклонных трещинах // *Бетон и железобетон*. 1975. № 7. С. 44–45.
9. ISO 565:1990 Test sieves – Metal wire cloth, perforated metal plate and electroformed sheet — Nominal sizes of openings
10. EN 1992-1-1 Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for buildings
11. ACI 318M-14 Building Code Requirements for Structural Concrete
12. RILEM Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials. RILEM, 1994. 618p.

### References

1. Prochnost', strukturnye izmeneniya i deformacii betona [Strength, structural changes and deformations of concrete]. Edited by A.A. Gvozdev. Moscow: NIIZHB, Stroyizdat. 1978. 299 p.
2. Zoshchuk N.I. The influence of aggregate size on the strength of concrete. *Beton i zhelezobeton*. 1988. No. 1, pp. 8–9. (In Russian).
3. Elshin I.M., Mironenko I.I. On the limit of applicability of gravel for concrete and on the transition to crushed stone. *Beton i zhelezobeton*. 1963. No. 4, pp. 173–176. (In Russian).
4. Sizov V.P. Determination of the optimal ratio of crushed stone fractions. *Beton i zhelezobeton*. 1968. No. 11, pp. 28–29. (In Russian).
5. Gordon S.S. Struktura i svojstva tyazhelyh betonov na razlichnyh zapolnitelyah [Structure and properties of heavy concrete on various aggregates]. Moscow: Stroyizdat, 1969. 152 p.
6. Peev A., Tabakov S., Tsanovsky S. On the optimal ratio of the fraction of a large aggregate for concrete. *Beton i zhelezobeton*. 1971. No. 1, pp. 45–47. (In Russian).
7. Mironov S.A., Malinsky E.N., Vakhitov M.M. Influence of a large aggregate on the thermal frost resistance of heavy concrete in a dry hot climate. *Beton i zhelezobeton*. 1981. No. 11, pp. 27–28. (In Russian).
8. Gvozdev A.A., Zalesov A.S., Titov I.A. Engagement forces in inclined cracks. *Beton i zhelezobeton*. 1975. No. 7, pp. 44–45. (In Russian).
9. ISO 565:1990 test sieves – Metal wire cloth, perforated metal plate and electroplating sheet – Nominal hole sizes
10. EN 1992-1-1 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1: General rules and regulations for buildings
11. Requirements of building codes ACI 318M-14 for structural concrete
12. RILEM recommendations on testing and use of building materials. RILEM, 1994. 618

В.В. РЕМНЁВ, д-р техн. наук, профессор, руководитель Центра специальных бетонов и конструкций (rema97776952@yandex.ru)

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона – НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6, к. 5)

## Возможности применения грунтобетонов для изготовления фундаментных и дорожных плит

*Дано определение грунтобетона, используемого для изготовления фундаментных и дорожных плит в заводских условиях. Приведены характеристики и свойства применяемых грунтов. Представлена технологическая схема изготовления изделий из грунтобетона. Указаны экспериментальные составы грунтобетона различных марок. В заводских условиях апробирована технология изготовления изделий из грунтобетона. Плиты, получаемые при двухстадийном вибрировании под пригрузом, обладают стабильными прочностными характеристиками, требуемой водо- и морозостойкостью для обеспечения их длительного срока службы.*

**Ключевые слова:** грунтобетон, фундаментные плиты, дорожные плиты, технологическая схема заводского производства, портландцемент, марка (класс) грунтобетона.

**Для цитирования:** Ремнёв В.В. Возможности применения грунтобетонов для изготовления фундаментных и дорожных плит // *Бетон и железобетон*. 2022. № 1 (609). С. 17–20.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-17-20>

V.V. REMNEV, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Head of the Center for Special Concrete and Structures (rema97776952@yandex.ru)  
Research, Design and Technological institute of Concrete and Reinforced Concrete – NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC “Research Center “Stroitel’stvo”  
(6, build. 5, 2-nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

### Possibilities of Using Soil-Concrete for the Manufacture of Foundation and Road Slabs

The definition of soil-concrete used for the manufacture of foundation and road slabs in factory conditions is given. The characteristics and properties of the applied soils are considered. The technological scheme for the manufacture of the soil-concrete products is presented. Experimental compositions of soil-concrete of various grades are indicated. The technology of manufacturing products from soil-concrete has been tested in the factory. The slabs obtained by two-stage vibration under loading have stable strength characteristics, the required water and frost resistance to ensure their long service life.

**Keywords:** soil-concrete, foundation slabs, road slabs, technological scheme for factory production, Portland cement, grade of soil-concrete.

**For citation:** Remnev V.V. Possibilities of using soil-concrete for the manufacture of foundation and road slabs. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2022. No. 1 (609), pp. 17–20. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-17-20>

В настоящее время закономерно интерес к созданию новых технологий производства строительных материалов на основе дешевых местных грунтов и различных побочных продуктов промышленности. Такие технологии имеют значительное экономическое, экологическое и научное значение. К ним можно отнести грунтобетон [1–3]. Грунтобетон – строительный материал, получаемый полусухим способом из грунтов (глин, суглинков, супесей и т. п.), связывающих веществ, воды и различных добавок. Высокая технико-экономическая эффективность и экологическая рациональность технологии грунтобетона определяются относительно низкой энергоресурсоемкостью их производства, что расширяет потенциальные возможности сырьевой базы строительства в целом. Реализация подобных материальных резервов связана с проблемами управления процессами ускоренного

структурообразования, надежностью и долговечностью материала, в первую очередь по показателям прочности, деформативности, морозостойкости, обуславливающих меру эффективности применения строительных изделий из грунтобетона [4, 5].

Цель работы заключалась в разработке технологии получения грунтобетона, включающего глинодержащие природные продукты, как композиционного материала с достаточно высокой прочностью и долговечностью.

Широкий диапазон используемых компонентов в грунтобетоне позволяет применять его практически во всех регионах России, особенно там, где существуют трудности в качественных заполнителях для обычных цементных бетонов [6].

Практика показывает, что в грунтобетонах возможно применение:

– в качестве связующих – портландцементов, шлакопортландцементов, шлакощелочных вяжущих (на основе гранулированных шлаков различных производств), известково-шлаковых и т. д.;

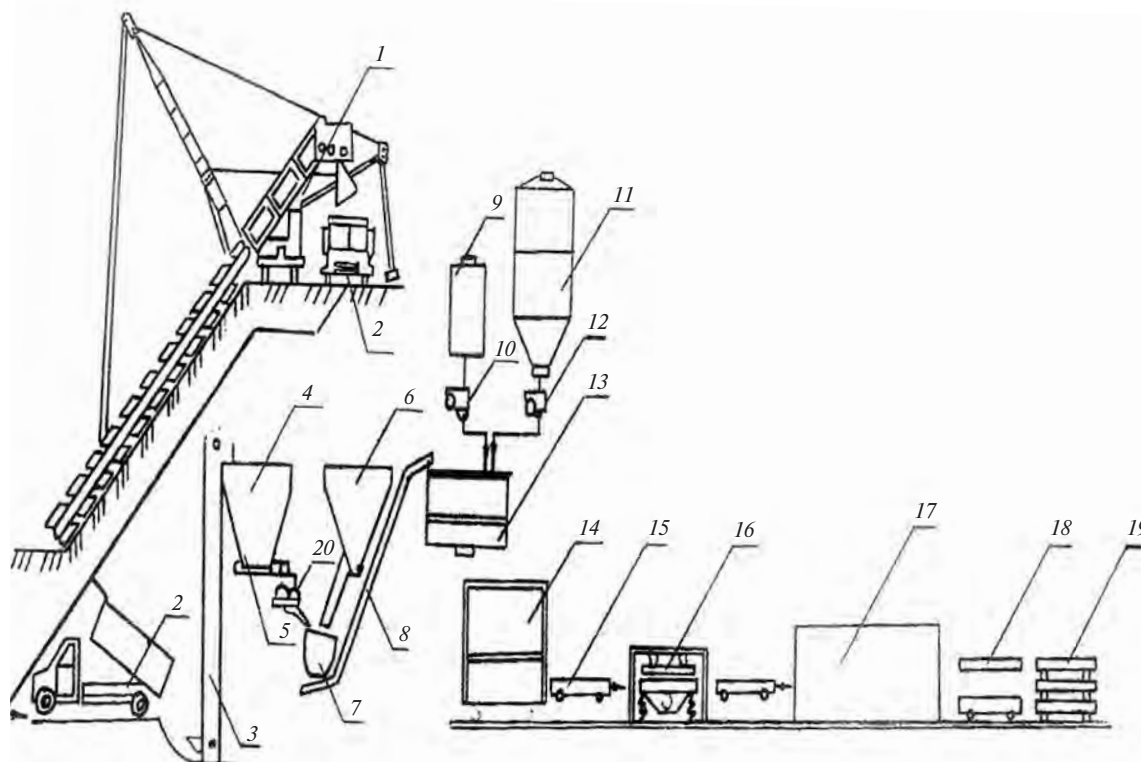
– в качестве добавок – золошлаковых, отвальных шлаков металлургических производств, горелой породы шахтных терриконов, нефелиновых шламов, ферросплавных, саморассыпающихся шлаков и т. д.

В предлагаемой работе рассматривается вариант получения грунтобетонных изделий в заводских (стационарных) условиях на основе портландцементов. Технологическая схема изготовления изделий из грунтобетона различных классов по прочности представлена на рисунке.

Грунт из карьера с помощью многоковшового экскаватора 1 срезается в виде тонкой стружки, загружается в автосамосвал 2, доставляется к месту формирования, загружается в приемный лоток ковшового элеватора 3 и подается в бункер 4. Аналогичным образом заполняется песком бункер 6. В дозирующую тележку 7 скипового подъемника 8 сначала самотеком загружается определенное количество песка из бункера 6, а затем с помощью транспортера 5 через вальцы тонкого помола 20 подается

грунт. Соотношение дозируемых материалов должно обеспечивать получение искусственной супеси с содержанием глинистых частиц в пределах 5–6%. Отдозированные материалы с помощью скипового подъемника 8 загружаются в работающий смеситель 13 принудительного действия, где в течение 30 с производится перемешивание грунта и песка. Затем в смеситель из емкости 11 через дозаторы 12 загружается цемент, часть которого, проходя через активатор 21, активируется. Перемешивание сухих компонентов продолжается еще 30 с, после чего из бака 9 через дозатор 10 в смеситель подается вода, количество которой с учетом влажности грунта и песка должно обеспечить заданную влажность смеси. Общая продолжительность перемешивания смеси ориентировочно составляет 2,5–3 мин.

Свежеприготовленная смесь через бетонораздатчик 14 подается в форму 15, в которую предварительно должен быть уложен арматурный каркас. Перемещаясь на катках, форма 15 подается на установку для формования 16, которая включает в себя виброплощадку с управляемой вибрацией и пригрузочное устройство. Уплотнение грунтобетонной смеси в форме производится под давлением при-



Технологическая схема производства изделий из грунтобетона: 1 – многоковшовый экскаватор; 2 – автосамосвал; 3 – ковшовый элеватор; 4 – бункер; 5 – транспортер; 6 – бункер для песка; 7 – дозирующая тележка; 8 – скиповый подъемник; 9 – бак; 10 – дозатор воды; 11 – емкость с цементом; 12 – дозаторы; 13 – смеситель; 14 – бетонораздатчик; 15 – форма; 16 – установка для формования; 17 – камера ТВО; 18 – пост распалубки; 19 – склад готовой продукции; 20 – вальцы тонкого помола

Technological scheme for the manufacture of products from soil-concrete: 1 – multi-bucket excavator; 2 – dump truck; 3 – bucket elevator; 4 – bunker; 5 – conveyor; 6 – sand bunker; 7 – dosing cart; 8 – skip hoist; 9 – tank; 10 – water dispenser; 11 – container with cement; 12 – dispensers; 13 – mixer; 14 – concrete distributor; 15 – form; 16 – installation for molding; 17 – heat and moisture treatment camera; 18 – demoulding station; 19 – finished goods warehouse; 20 – fine rollers

груза  $P=0,021-0,023$  МПа с амплитудой колебания виброплощадки  $a=0,85-0,9$  мм и при частоте колебаний  $f=17-32$  Гц в течение  $t=20-25$  с, затем при  $f=48-52$  Гц при  $t=125-135$  с.

При агрегатно-поточной технологии форма со свежесформованным изделием подается краном в камеру 17 для тепловлажностной обработки и после пропаривания поступает на пост распалубки 18. Изделия после контроля отправляются на склад готовой продукции 19.

Тепловая обработка грунтобетонных изделий должна обеспечивать достижение нормируемой отпускной прочности бетона и прочности в проектном возрасте.

Рекомендуемый режим ТВО:

- выдерживание при положительной температуре в камере во влажных условиях не менее 2 ч;
- подъем температуры до  $t=90^{\circ}\text{C}$  – 3 ч;
- изотермический прогрев – 8 ч;
- охлаждение до  $t=40^{\circ}\text{C}$  – 2 ч.

Из грунтобетона классов по прочности В10–В25 при двухстадийном вибрировании под пригрузом предлагается изготовление изделий:

- фундаментных плит – для ленточных фундаментов применительно к зданиям малой этажности (преимущественно в сельском строительстве);
- дорожных плит – для покрытий временных автомобильных дорог, что позволяет сократить расход цемента, а также расширить сырьевую базу в сочетании с ее максимальным приближением к месту изготовления изделий.

Номенклатура и основные характеристики грунтобетонных изделий приведены в табл. 1 и 2.

Для приготовления грунтобетонных смесей следует применять:

- а) в качестве вяжущего – портландцемент и шлакопортландцемент марки не ниже 400, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 10178–85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия»;
- б) в качестве заполнителей:
  - лессовидные супесчаные и суглинистые грунты с физическими свойствами, указанными в табл. 3;
  - песок, отвечающий требованиям ГОСТ 8736–14 «Песок для строительных работ. Технические условия»;
  - в) воду затворения – по ГОСТ 23732–2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия».

Оптимизацию гранулометрического состава и пластичности смеси в соответствии с табл. 3 проводят путем добавления песка или глинистых фракций.

Состав грунтобетонной смеси подбирается лабораторией предприятия-изготовителя и корректируется в зависимости от изменения вида и качества сырья и (или) технологии производства таким обра-

Таблица 1  
Table 1

**Номенклатура и характеристики фундаментных плит высотой 300 мм**  
**Nomenclature and characteristics of foundation slabs with a height of 300 mm**

Ширина, мм	Длина, мм	Объем бетона, м <sup>3</sup>	Масса изделия, кг
1600	230	0,987	2170
	1180	0,486	1070
	780	0,32	704
1400	2380	0,845	1880
	1180	0,416	915
	780	0,247	600
1200	2380	0,703	1550
	1180	0,347	763
	780	0,228	502
1000	2380	0,608	1340
	1180	0,3	660
	780	0,197	443
800	2380	0,557	1230
	1180	0,274	603

Таблица 2  
Table 2

**Характеристики дорожных плит из грунтобетона**  
**Characteristics of road slabs of soil-concrete**

Высота плиты, мм	Масса плиты, кг	Объем бетона, м <sup>3</sup>
Плиты размером 1,5×1,75 м		
180	1040	0,46
Плиты размером 1,5×3 м		
180	1780	0,8

Таблица 3  
Table 3

**Характеристики воздушно-сухого грунта**  
**Characteristics of air-dry soil**

Характеристики	Предельные значения
Гранулометрический состав (% массы воздушно-сухого грунта*):	
Песчаные частицы фракции 2–0,25 мм	20–40
Фракции 0,25–0,05 мм	20–40
Пылеватые фракции 0,05–0,005 мм	15–50
Глинистые фракции менее 0,005 мм	5–9
Пластичность**	0,02–0,05
Водородный показатель pH	>7
Содержание водорастворимых солей, %	<3

\* Определяется по ГОСТ 12536–2014 «Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава».  
\*\* Определение границ текучести и раскатывания грунта производится по ГОСТ 5183–77 «Грунты. Методы лабораторного определения границ текучести и раскатывания».

зом, чтобы обеспечить получение смеси с заданными свойствами при наименьшем расходе цемента.

Опытные составы грунтобетона приведены в табл. 4.

Для определения влажности смеси отбирают три пробы из различных участков замеса. При непрерывной подаче смеси (ленточными транспортерами) отбор проб производят в три приема с интервалом в 1 мин. Влажность смеси следует определять не позднее чем через 10 мин после отбора пробы.

Таблица 4  
Table 4

**Опытные составы грунтобетона**  
**Experienced composition of soil-concrete**

Марка (класс) грунтобетона*	Расход материалов, кг, на 1 м <sup>3</sup> грунтобетона класса, кг				
	Цемент марки 400	Супесь ( $J_p=0,02-0,05$ )	Суглинок ( $J_p=0,1-0,12$ )	Песок ( $M_{кр}=1,2-1,4$ )	Вода
B5 (M100)	290	1680	420	1260	230
B10 (M150)	320	1650	410	1240	235
B15 (M200)	360	1610	400	1210	
B25 (M300)	520	1440	360	1080	240

\* При коэффициенте вариации 13,5% (ГОСТ 27006–2019 «Бетоны. Правила подбора состава»).

В качестве арматуры следует применять горячекатаную арматурную сталь периодического профиля классов А-П и А-Ш по ГОСТ 5181–82 «Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия».

Сварные арматурные изделия и закладные детали должны удовлетворять требованиям ГОСТ 10922–2012 «Арматурные и закладные изделия, их сварные, вязаные и механические соединения для железобетонных конструкций. Общие технические условия», сварные сетки – требованиям ГОСТ 8478–81 «Сетки сварные для железобетонных конструкций. Технические условия».

Монтажные петли следует изготавливать из горячекатаной гладкой арматурной стали класса А-I по ГОСТ 5781–82 марок ВСтЗсп2 и ВСтЗгс2 по ГОСТ 380.

Стержневую арматуру испытывают при растяжении (по ГОСТ 12004–81 «Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение») и при изгибе в холодном состоянии (по ГОСТ 14019–2003 (ИСО 7438:1985) «Материалы металлические. Метод испытания на изгиб»).

Таким образом, предложена апробированная заводская технология изготовления фундаментных и дорожных плит из грунтобетона. Изделия, получаемые при двухстадийном вибрировании под пригрузом, обладают стабильными прочностными характеристиками, требуемой водо- и морозостойкостью для обеспечения их длительного срока службы.

**Список литературы**

1. Бабков В.Ф., Безрук В.М. Основы грунтоведения и механики грунтов. М., 1986. 328 с.
2. Бойчук В.С. Проектирование сельскохозяйственных дорог и площадок. М.: Колос, 1996. 207 с.
3. Грушко И.М., Борщ И.М., Королёв И.В. Дорожно-строительные материалы. М.: Транспорт, 1991. 357 с.
4. Пичугин А.П., Гришина В.А., Языков И.К. Моделирование физических и физико-химических процессов, происходящих в укрепленном грунте.

*Материалы и изделия для ремонта и строительства: Международный сборник научных трудов.* Новосибирск, 2006. С. 114–117.

5. Пичугин А.П., Гришина В.А., Языков И.К. Деформационные процессы в укрепленных грунтах. *Экология и новые технологии в строительном материаловедении: Международный сборник научных трудов.* Новосибирск, 2010. С. 74–75.
6. Петкявичус К., Подагелис И., Лауринавичус А. Возможности использования местных нерудных материалов при строительстве и ремонте автомобильных и железных дорог // *Строительные материалы.* 2006. № 3. С. 32–35.

**References**

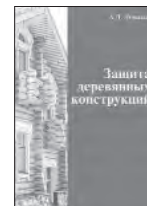
1. Babkov V.F., Bezruk V.M. *Osnovy gruntovedeniya i mehaniki gruntov* [Fundamentals of soil science and mechanics]. Moscow. 1926. 328 p.
2. Boichuk V.S. *Proektirovanie sel'skhozajstvennyh dorog i ploshhadok* [Design of agricultural roads and sites]. Moscow: Kolos. 1996. 207 p.
3. Grushko I.M., Borshch I.M., Korolev I.V. *Dorozhno-stroitel'nye materialy* [Road construction materials]. M. Transport. 1991. 357 p.
4. Pichugin A.P., Grishina V.A., Yazikov I.K. Modeling of physics and physicochemical processes occurring in reinforced soils. *Materials and products for repair and construction. International collection of science papers.* Novosibirsk. NGAU. 2006, pp. 114–117. (In Russian).
5. Pichugin A.P., Grishina V.A., Yazikov I.K. Deformation processes in reinforced soils. *Ecology and new technologies in construction materials science. International collection of science papers.* Novosibirsk. 2010, pp. 74–75. (In Russian).
6. Petkyavichius K., Podagelis I., Kaurinavichus A. Possibilities of using of local non-metallic materials in the construction and repair of roads and railways. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 3, pp. 32–35. (In Russian).

## В издательстве «Стройматериалы» вы можете приобрести специальную литературу

### Монография «Защита деревянных конструкций»

Автор – Ломакин А.Д.

Приведены результаты исследований и рекомендации по конструкционной и химической защите деревянных конструкций. Особое внимание уделено защите несущих клееных деревянных конструкций и конструкций из ЛВЛ от эксплуатационных воздействий и возгорания. Описаны традиционные и разработанные автором методы оценки защитных свойств покрытий для древесины, методика и результаты натурных климатических испытаний покрытий на образцах и фрагментах конструкций. Представлены результаты мониторинга влажностного состояния несущих ДКК в таких крупных объектах, как ЦВЗ «Манеж», крытый конькобежный центр в Крылатском в Москве и др., при проведении которого использована разработанная автором методика оценки древесины с использованием модельных образцов.



### Учебное пособие «Химическая технология керамики»

Авторы – Андрианов Н.Т., Балкевич В.Л., Беляков А.В., Власов А.С., Гузман И.Я., Лукин Е.С., Мосин Ю.М., Скидан Б.С.

Освещены вопросы современного состояния технологии основных видов керамических изделий строительного, хозяйственно-бытового и технического назначения, а также различных видов огнеупоров. Главное внимание уделено основным процессам технологии керамики и ее свойствам. Подробно изложены характеристика различных видов сырья, проблемы подготовки керамических масс различного вида и их формование различными методами, особенности механизмов спекания, а также дополнительные виды обработки керамики: металлизация, глазурирование, декорирование, механическая обработка. Детально описаны свойства керамических изделий – механические, деформационные, теплофизические, электрофизические, в том числе при высоких температурах.



### Учебное пособие «Практикум по технологии керамики»

Авторы – коллектив ученых РХТУ им. Д.И. Менделеева.

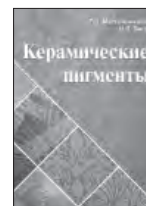
Рассмотрены основные методы отбора проб, испытаний сырьевых материалов, контроля и исследования технологических процессов, а также определения свойств готовой продукции, применяемые в керамической, огнеупорной и смежных отраслях промышленности. Пособие может быть использовано не только как учебное, но и в качестве полезного руководства для инженеров заводских и научно-исследовательских лабораторий.



### Книга «Керамические пигменты»

Авторы – Масленникова Г.Н., Пицц И.В.

В монографии рассмотрены физико-химические основы синтеза пигментов, в том числе термодинамическое обоснование реакций, теория цветности, современные методы синтеза пигментов и их классификация, методы оценки качества. Приведены сведения по технологии пигментов и красок различных цветов и кристаллических структур. Описаны современные методы декорирования керамическими красками изделий из сортового стекла, фарфора, фаянса и майолики. Книга предназначена для научных сотрудников, студентов, специализирующихся в области технологии керамики и стекла, а также для инженерно-технических работников, занятых в производстве керамических изделий и красок.



### Книга «Сухие строительные смеси. Состав, свойства»

Авторы – Корнеев В.И., Зозуля П.В.

Изложены основы современных представлений о сухих строительных смесях и растворах. Приведены основные определения и классификации сухих смесей. Охарактеризованы составляющие: вяжущие, заполнители, наполнители, функциональные добавки. Показана методика проектирования составов. Описаны основные группы ССС, их состав и свойства. В приложении даны основные применяемые термины и определения, наиболее употребляемые единицы измерения, перечень российских и зарубежных стандартов и др.



### Книга «Технология производства стеновых цементно-песчаных изделий»

Авторы – Балакшин Ю.З., Терехов В.А.

Описано производство и применение стеновых материалов методом вибропрессования из цементно-песчаных бетонов. Рассмотрена существующая и перспективная номенклатура изделий и их свойства. Даны характеристики сырьевым материалам – песку, щебню, вяжущим и химическим добавкам, и рекомендации по подбору состава бетонной смеси. Подробно представлена технология производства цементно-песчаных вибропрессованных стеновых изделий. Особое внимание уделено технологическому контролю на производстве и техническому контролю и обслуживанию оборудования. Книга предназначена для организации производственно-технического обучения на предприятии, будет полезна инженерно-техническому персоналу и широкому кругу специалистов.



**Заказать литературу можно через редакцию  
по тел.: (499) 976-22-08, 976-20-36; e-mail: mail@rifsm.ru,  
или оформить заявку на сайте www.rifsm.ru**

Н.В. БАРАННИК, инженер-химик-технолог, С.В. КОТОВ, канд. техн. наук (kottoffser@gmail.com),  
Е.С. ПОТАПОВА, магистр, С.С. МАЛАХИН, магистр

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона –  
НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6, к. 5)

## Определение химического состава компонентов бетона методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой

Современные методы химического анализа особенно актуальны для определения химического состава материалов, используемых в строительстве. На настоящий момент, в области химического анализа наиболее сбалансированным по соотношению цена – качество является метод атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ИСП–АЭС). Определение химического состава таких материалов, как цемент, песок и щебень, выполняется согласно нормативным документам по методам, которые являются методами химии растворов. Сопоставление результатов определения химического состава данных материалов по методам химии растворов и по методу ИСП–АЭС показало, что абсолютное отклонение результатов для оксидов каждого определяемого элемента не превышает величину 0,05%. Данный факт подтверждает высокую эффективность метода ИСП–АЭС применительно для определения химического состава компонентов бетона. В статье приведен метод подготовки проб цемента, песка и щебня для проведения ИСП–АЭС анализа, представлены аналитические линии для каждого определяемого элемента и рассмотрен процесс обработки результатов анализа.

**Ключевые слова:** компоненты бетона, цемент, песок, щебень, химический состав, атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой.

**Для цитирования:** Баранник Н.В., Котов С.В., Потапова Е.С., Малахин С.С. Определение химического состава компонентов бетона методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой // *Бетон и железобетон*. 2022. № 1 (609). С. 22–30. DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-22-30>

N.V. BARANNIK, Engineer-Chemist-Technologist, S.V. KOTOV, Candidate of Sciences (Engineering), (kottoffser@gmail.com),  
E.S. POTAPOVA, Magister, S.S. MALAKHIN, Magister

Research, Design and Technological institute of Concrete and Reinforced Concrete – NIIZH named after A.A. Gvozdev JSC “Research Center “Stroitel’stvo”  
(6, build. 5, 2-nd Institut’skaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

### Determination of Chemical Composition of Concrete Components by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry

The modern techniques of chemical analysis are especially significant for determination of the chemical composition of building materials. At present moment, in a field of chemical analysis, the most balanced technique in terms of price and quality is the inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). Determination of chemical composition of such materials as cement, sand and crushed rock are carrying out according to codes GOST 5382, GOST 8735 and GOST 82169.1, using techniques that in fact are techniques of the classical chemistry, which are so called “chemistry of solutions”. Comparison between the results of determination of the chemical composition of such materials that were obtained by techniques of the chemistry of solutions and by ICP-AES technique, showed that absolute deviation of results for the each determined element’s oxide were not higher than the value of 0.05%. This fact confirms that ICP-AES technique is highly effective for determination of the chemical composition of materials using for making concrete. The preparation technique for samples of cement, sand and crushed rock, analytical lines for the each determine element and processing of the results for ICP-AES technique are presented in this article.

**Keywords:** concrete components, cement, sand, crushed rock, chemical composition, inductively coupled plasma atomic emission spectrometry.

**For citation:** Barannik N.V., Kotov S.V., Potapova E.S., Malakhin S.S. Determination of chemical composition of concrete components by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2022. No. 1 (609), pp. 22–30. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-22-30>

В области строительства самым распространенным строительным материалом в мире полноправно считается бетон. Цемент, песок и щебень являются основными компонентами бетона, поэтому оценка их химического состава является важным этапом на пути принятия решения об использовании данных материалов при разработке состава бетона.

В РФ химический анализ цемента проводят по ГОСТ 5382–2019 «Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа», химический анализ песка по ГОСТ 8735–88 «Песок для

строительных работ. Методы испытаний» и химический анализ щебня по ГОСТ 8269.1–97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы химического анализа». Методы анализа, представленные в данных нормативных документах, являются, по сути, методами классической химии, также называемыми методами химии растворов.

Для эффективного развития современного материаловедения требуется сокращение цикла проведения анализа в большинстве современных ме-



тодов аналитической химии. В научном мире идет постоянная разработка новых технологий и приборов, которые призваны улучшить или даже заменить традиционные методы химического анализа. В результате этого наблюдается ситуация, когда, казалось бы, эффективный метод химического анализа, который успешно применяется сегодня, завтра уже будет заменен на новый, еще более совершенный метод анализа.

Несмотря на данное обстоятельство, атомно-эмиссионная спектрометрия (АЭС) как метод анализа существует в современном мире весьма продолжительное время [1, 2]. Причиной данного явления является постоянное совершенствование и развитие метода АЭС [3, 4]. Одним из развитий АЭС стала атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП–АЭС).

ИСП–АЭС, разработанная в начале 1960-х гг. и в настоящее время широко используемая, характеризуется как аналитический метод с очень широкими возможностями [3, 5–8].

Наиболее распространенным аналитическим прибором, работающим с использованием ИСП–АЭС, является атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно связанной плазмой (ИСП–АЭС спектрометр). ИСП–АЭС спектрометры используют в качестве источника возбуждения индуктивно связанную плазму [9, 10]. Плазма представляет собой ионизированный газ, который является макроскопически нейтральным, т. е. имеет одинаковое количество позитивно заряженных частиц (ионов) и негативно заряженных частиц (электронов) [11–14]. Создание плазмы происходит путем передачи газу индукционного разогрева.

Возможность выполнения многоэлементного анализа является наиболее важным достоинством метода ИСП–АЭС [8].

Анализ по методу ИСП–АЭС – это преимущественно анализ растворов. Данное обстоятельство многие исследователи считают большим достоинством [15, 16]. Для жидких проб (вода и т. п.) это явное преимущество, но и для твердых проб данное обстоятельство также является преимуществом, потому что при растворении твердых проб перед анализом устраняются многие помехи [17]. Существенно упрощается анализ многих гетерогенных материалов, например горных пород. Одни и те же элементы могут составлять множество минеральных структур в одной и той же пробе. Поэтому даже при использовании классических методов анализа (химия растворов) твердую пробу часто необходимо переплавлять. При растворении твердой гетерогенной пробы все элементы переходят в единое состояние [18–20]. Важным достоинством метода анализа

растворов является относительно простой способ приготовления стандартных калибровочных растворов, в которых элементы присутствуют в той же химической форме, что и в пробах.

Таким образом, отсутствуют какие-либо серьезные препятствия применения метода ИСП–АЭС для определения химического состава основных компонентов бетона: цемента, песка и щебня. Важным вопросом является достоверность получаемых по методу ИСП–АЭС результатов, а именно расхождение между данными, полученными по методам химии растворов и по методу ИСП–АЭС. Для решения данной проблемы была выполнена работа по определению химического состава трех образцов цемента, трех образцов песка и трех образцов щебня по методам, изложенным в ГОСТ 5382–2019, ГОСТ 8735–88 и ГОСТ 8269.1–97, и тех же самых образцов материалов по методу ИСП–АЭС.

**1. Экспериментальная часть.** Для решения поставленных задач, были исследованы следующие материалы:

- 1) Образцы цемента:
  - ЦЕМ I 52,5Н ГОСТ 31108–2016;
  - ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н ГОСТ 31108–2016;
  - ЦЕМ II/B-K (Ш-И) 42,5Н ГОСТ 31108–2016.
- 2) Образцы песка (мелкого заполнителя):
  - песок кварцевый, Якутия;
  - песок, Дальний Восток;
  - песок, Белгородская область.
- 3) Образцы щебня (крупного заполнителя):
  - щебень, диоритовый карьер;
  - щебень карбонатный, Якутия;
  - изверженные породы, Камчатка.

**1.1. Определение химического состава компонентов бетона методами химии растворов.** Примененное общее лабораторное оборудование (колбы, стаканы, тигли и т. д.) соответствует требованиям действующих нормативных документов.

Основное примененное оборудование:

- весы OHAUS AR 2140;
- сухожаровые шкафы с естественной конвекцией Binder ED 53;
- вибрационная дисковая мельница Retsch RS 200;
- мельница-ступка Retsch RM 200;
- спектрофотометр Nach Lange DR 3900.

Для каждого анализируемого образца было проведено три параллельных испытания. Испытания по определению химического состава исследуемых материалов были проведены согласно методам, изложенным в ГОСТ 5382–2019, ГОСТ 873–88 и ГОСТ 8269.1–97.

Таблица 1  
Table 1

Перечень стандартов и аналитических линий для метода ИСП-АЭС  
List of standards and analytical lines for the ICP-AES method

Элемент	Название стандарта	Аналитическая линия λ, нм	Аналитическая линия в программе iTEVA, нм
Si	ГСО 8212-2002	251,6	251,611
Ca	ГСО 7927-2001	422,6*	422,673*
Mg	ГСО 7835-2000	285,2*	285,213*
Al	ГСО 7682-99	308,2	308,215
Fe	ГСО 7681-99	259,9	259,94
S	ГСО 7775-2000	182,6	182,624
Na	ГСО 7771-2000	589,5*	589,592*
K	ГСО 8464-2003	766,4	766,49
Mn	ГСО 7875-2000	259,3	259,373
Ti	ГСО 7834-2000	336,1	336,121
Cr	ГСО 7683-99	267,7	267,716
P	ГСО 7748-99	213,6	213,618
Ba	ГСО 7107-94	455,4	455,403

\* съемка линии в радиальном режиме обзора плазмы.

Таблица 2  
Table 2

Химический состав исследованных образцов цемента, определенный по методам химии растворов  
The chemical composition of the studied cement samples determined by the methods of solution chemistry

Тип или марка портландцемента	№ исп.	Содержание оксидов, мас. %							
		ППП	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	
ЦЕМ I 52,5Н ГОСТ 31108-2016		ППП	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	
	1	0,94	21	63,09	1,70	5,07	4,6	2,67	
	2	1,01	21,12	63,12	1,98	4,98	4,4	2,56	
	3	0,98	20,96	62,96	1,88	4,96	4,52	2,6	
			Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO
	1	0,19	0,27	0,1	0,09	≤0,01	0,25	≤0,01	
	2	0,21	0,25	0,1	0,06	≤0,01	0,22	≤0,01	
	3	0,2	0,26	0,14	0,1	≤0,01	0,23	≤0,01	
ЦЕМ III/A-Ш 42,5Н ГОСТ 31108-2016		ППП	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	
	1	1,63	23,51	56,3	4,46	4,83	4,86	2,59	
	2	1,75	23,62	56,41	4,31	4,91	4,89	2,51	
	3	1,71	23,5	56,53	4,21	4,81	4,91	2,52	
			Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO
	1	0,32	0,51	0,11	0,2	≤0,01	0,38	≤0,01	
	2	0,29	0,49	0,08	0,18	≤0,01	0,33	≤0,01	
	3	0,31	0,5	0,1	0,21	≤0,01	0,37	≤0,01	
ЦЕМ II/B-К (Ш-И) 42,5Н ГОСТ 31108-2016		ППП	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	
	1	4,65	21,53	59,62	2,08	4,43	2,8	2,87	
	2	4,73	21,71	59,8	2,01	4,51	2,76	2,91	
	3	4,81	21,79	59,76	2,11	4,49	2,84	2,83	
			Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO
	1	0,11	0,82	0,12	0,24	≤0,01	0,26	≤0,01	
	2	0,11	0,79	0,1	0,21	≤0,01	0,22	≤0,01	
	3	0,14	0,81	0,11	0,2	≤0,01	0,24	≤0,01	

1.2. *Определение химического состава компонентов бетона методом ИСП–АЭС.* Для определения химического состава исследуемых материалов был использован атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно связанной плазмой iCAP 7200 Duo (производитель ThermoFisher Scientific). Для каждого анализируемого образца было проведено три параллельных испытания.

Общий процесс проведения анализа заключается в следующем. Анализируемый раствор подается перистальтическим насосом в распылительную систему, состоящую из пневматического концентрического распылителя типа SeaSpray и циклонной распылительной камеры типа Tracey, где образующийся аэрозоль потоком аргона транспортируется в кварцевую плазменную горелку через стеклянный инжектор. В плазме происходит атомизация аэрозоля, ионизация атомов, а также возбуждение атомов и ионов. Возбужденные атомы и ионы испускают электромагнитное излучение, которое разлагается спектрометром и регистрируется CID-детектором. По величине ре-

гистрируемого детектором сигнала в виде интенсивности спектральных линий оценивают содержание определяемого элемента в анализируемом растворе.

Управление спектрометром и обработка аналитических данных осуществляются с помощью программного комплекса iTEVA, установленного на подключенный к спектрометру персональный компьютер. iTEVA содержит встроенную базу данных спектральных линий для большинства элементов Периодической системы. Рабочие параметры спектрометра были установлены согласно рекомендациям фирмы-производителя. В процессе выполнения экспериментальных исследований данные рабочие параметры не изменялись.

Для процедуры калибровки спектрометра iCAP 7200 Duo с целью построения калибровочных кривых в программном комплексе iTEVA были использованы стандарты на исследуемые элементы. Перечень используемых стандартов указан в табл. 1.

Калибровочные кривые были построены для каждого определяемого элемента до величины концен-

Таблица 3  
Table 3

**Химический состав исследованных образцов цемента, определенный по методу ИСП–АЭС**  
**The chemical composition of the studied cement samples determined by the ICP–AES method**

Тип или марка портландцемента	№ исп.	Содержание оксидов, мас.%							
ЦЕМ I 52,5Н ГОСТ 31108–2016		–	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	
	1	–	20,99	63,11	1,72	5,04	4,61	2,69	
	2	–	21,08	63,12	1,96	4,96	4,44	2,52	
	3	–	20,91	62,99	1,92	4,98	4,51	2,61	
			Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO
	1	0,21	0,26	0,1	0,1	≤0,01	0,23	≤0,01	
	2	0,2	0,24	0,11	0,07	≤0,01	0,22	≤0,01	
3	0,19	0,25	0,12	0,1	≤0,01	0,21	≤0,01		
ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н ГОСТ 31108–2016		–	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	
	1	–	23,49	56,29	4,44	4,81	4,91	2,61	
	2	–	23,53	56,37	4,34	4,9	4,86	2,52	
	3	–	23,51	56,49	4,22	4,82	4,88	2,59	
			Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO
	1	0,3	0,48	0,09	0,19	≤0,01	0,36	≤0,01	
	2	0,31	0,51	0,10	0,21	≤0,01	0,38	≤0,01	
3	0,29	0,5	0,09	0,2	≤0,01	0,33	≤0,01		
ЦЕМ II/B-К (Ш-И) 42,5Н ГОСТ 31108–2016		–	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	
	1	–	21,49	59,71	2,01	4,49	2,78	2,89	
	2	–	21,67	59,62	2,09	4,52	2,82	2,92	
	3	–	21,75	59,8	2,06	4,50	2,74	2,83	
			Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO
	1	0,09	0,8	0,11	0,2	≤0,01	0,25	≤0,01	
	2	0,11	0,78	0,12	0,19	≤0,01	0,22	≤0,01	
3	0,12	0,81	0,1	0,22	≤0,01	0,24	≤0,01		

трации 50 мг/л. Для выполнения данной процедуры, исходные стандарты были разбавлены до следующих концентраций: 1, 5, 10, 25 и 50 мг/л.

Аналитические линии для исследуемых элементов по методу ИСП-АЭС представлены в табл. 1.

Примененное оборудование и материалы для подготовки пробы в ИСП-АЭС анализе аналогичны оборудованию, указанному в п. 1.1, включая:

- кислота соляная по ГОСТ 3118-77 «Реактивы. Кислота соляная. Технические условия»;
- желатин пищевой по ГОСТ 11293-2017 «Желатин. Технические условия», раствор массовой концентрации 10 г/л (1 г желатина растворяют в 100 мл воды, нагретой до 70°C);
- метаборат лития химической чистоты, соответствующий нормативной документации производителя;
- сита с размером ячейки 80 и 500 мкм.

Порядок подготовки пробы для ИСП-АЭС анализа следующий.

Отобранную пробу анализируемого материала в количестве 100 г измельчают и последовательным квартованием уменьшают массу от 10 до 25 г. Данную навеску растирают в агатовой ступке до состояния пудры (при контрольном просеивании проба должна полностью проходить через сито с размером ячейки 80 мкм).

Перед взятием навески для анализа пробу высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы (до разницы при двух последовательных взвешиваниях не более 0,0002 г) при температуре (100±5)°C. После процесса сушки пробы охлаждают до комнатной температуры любым удобным способом, но в сухих условиях, например в эксикаторе с безводным хлоридом кальция.

Высушенную и охлажденную навеску пробы массой 0,5 г тщательно перемешивают в платиновом тигле с двукратным количеством метабората лития и спекают в муфельной печи при температуре 950–

Таблица 4  
Table 4

Химический состав образцов песка определенный по методам химии растворов  
The chemical composition of sand samples determined by the methods of solution chemistry

Образец	№ исп.	Содержание оксидов, мас. %						
		ППП*	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>
Песок кварцевый, Якутия		ППП*	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>
	1	0,56	86,72	0,98	0,3	7,69	0,4	0,02
	2	0,51	87,13	1,06	0,26	7,51	0,36	0,01
	3	0,49	86,64	1,02	0,31	7,72	0,41	0,02
		Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO
	1	1,15	1,92	0,21	0,09	0,16	0,18	≤0,01
	2	1,09	1,83	0,19	0,1	0,15	0,16	≤0,01
	3	1,16	1,88	0,2	0,1	0,15	0,15	≤0,01
		ППП*	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>
Песок, Дальний Восток	1	0,81	75,95	4,75	0,5	11,97	2,26	0,03
	2	0,79	75,83	4,81	0,44	12,16	2,31	0,01
	3	0,87	75,47	4,90	0,51	11,79	2,38	0,01
		Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO
	1	2,25	1,2	0,18	0,51	0,01	0,03	≤0,01
	2	2,21	1,17	0,15	0,52	0,01	0,05	≤0,01
	3	2,26	1,21	0,19	0,48	0,01	0,05	≤0,01
		ППП*	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>
	Песок, Белгородская область	1	1,43	93,85	0,86	0,69	1,82	0,06
2		1,51	93,69	0,92	0,61	1,78	0,08	0,21
3		1,47	93,81	0,89	0,59	1,86	0,06	0,2
		Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO
1		0,11	0,22	0,02	0,26	0,05	0,08	≤0,01
2		0,15	0,24	0,02	0,26	0,04	0,07	≤0,01
3		0,11	0,23	0,01	0,28	0,04	0,08	≤0,01

\* потери при прокаливании

1000°C в течение 3–7 мин. После охлаждения тигля спек растворяют в 10–15 мл соляной кислоты и переносят раствор в стакан вместимостью 50 мл.

Стакан погружают в нагретую до температуры 60–70°C водяную баню и выдерживают 10 мин. Затем прибавляют 10 мл раствора желатина, энергично перемешивают в течение 1 мин. Раствор фильтруют в теплом виде через фильтр «белая лента», количественно перенося осадок на фильтр и собирая фильтрат в мерную колбу вместимостью 250 мл. Доводят объем фильтрата в колбе до метки, используя дистиллированную воду.

Для проведения ИСП–АЭС анализа полученный фильтрат разбавляют дистиллированной водой таким образом, чтобы ожидаемая концентрация определяемых элементов в растворе находилась в диапазоне калибровочных кривых ИСП–АЭС спектрометра.

Полученный фильтр с осадком переносят во взвешенный платиновый тигель, озоляют без воспламенения, прокаливают в муфельной печи при температуре 1000°C до постоянной массы, охлаждают в эксикаторе и взвешивают.

В результате данной операции весовым методом определяют концентрацию оксида кремния, не растворившегося в результате сплавления с материалом-плавнем (метаборат лития). Полученное значение суммируют с результатом определения оксида кремния по методу ИСП–АЭС.

Данные, получаемые в результате анализа раствора (фильтрата) на спектрометре iCAP 7200 Duo, отражают содержание определяемых элементов, выраженное в концентрациях согласно калибровочным кривым. Для стандартов, примененных в данной работе и указанных в табл. 1, концентрация исследуемых элементов выражается в мг/л.

Расчет массовой концентрации оксида определяемого элемента  $X_i$ , %, вычисляют по формуле (1).

$$X_i = \left( \frac{\left( \frac{C_i \times Mr_{\text{оксид}}}{Mr_{\text{элемент}}} \right)}{C_{\text{раствор}}} \right) \times 100, \quad (1)$$

Таблица 5  
Table 5

Химический состав образцов песка, определенный по методу ИСП–АЭС  
The chemical composition of sand samples determined by the ICP–AES method

Тип или марка портландцемента	№ исп.	Содержание оксидов, мас. %							
		–	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	
Песок кварцевый, Якутия	1	–	86,81	0,98	0,31	7,72	0,41	0,02	
	2	–	86,72	1,08	0,29	7,54	0,38	0,02	
	3	–	87,1	1,03	0,3	7,63	0,42	0,02	
			Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO
	1	1,12	1,82	0,22	0,09	0,16	0,15	≤0,01	
	2	1,09	1,94	0,21	0,11	0,14	0,17	≤0,01	
	3	1,16	1,86	0,2	0,1	0,13	0,17	≤0,01	
Песок, Дальний Восток	1	–	75,76	4,65	0,51	11,96	2,19	0,01	
	2	–	75,89	4,78	0,46	12,12	2,26	0,01	
	3	–	75,51	4,88	0,49	11,92	2,35	0,01	
			Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO
	1	2,31	1,19	0,16	0,52	0,01	0,03	≤0,01	
	2	2,24	1,17	0,18	0,49	0,01	0,02	≤0,01	
	3	2,28	1,21	0,19	0,5	0,01	0,05	≤0,01	
Песок, Белгородская область	1	–	93,81	0,84	0,68	1,85	0,06	0,2	
	2	–	93,77	0,93	0,61	1,79	0,05	0,21	
	3	–	93,85	0,88	0,6	1,83	0,05	0,2	
			Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO
	1	0,1	0,21	0,02	0,26	0,03	0,07	≤0,01	
	2	0,12	0,23	0,02	0,25	0,05	0,09	≤0,01	
	3	0,14	0,2	0,01	0,26	0,05	0,08	≤0,01	

Таблица 6  
Table 6

Химический состав образцов щебня определенных по методам химии растворов  
The chemical composition of crushed stone samples determined by the methods of solution chemistry

Образец	№ исп.	Содержание оксидов, мас. %							
		ППП*	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	
Щебень, диоритовый карьер		ППП*	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	
	1	3,5	55,14	7,57	5,24	13,54	11	0,02	
	2	3,44	55,39	7,71	5,19	13,62	10,91	0,02	
	3	3,51	54,98	7,62	5,41	13,44	11,12	0,01	
			Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO
	1	1,68	0,23	0,1	0,65	0,75	0,2	≤0,01	
	2	1,59	0,19	0,09	0,61	0,69	0,18	≤0,01	
3	1,62	0,21	0,11	0,59	0,71	0,2	≤0,01		
Щебень карбонатный, Якутия		ППП*	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	
	1	42,58	2,15	53,56	0,6	0,6	0,3	0,11	
	2	42,51	2,12	53,88	0,54	0,58	0,26	0,09	
	3	42,49	2,22	53,56	0,61	0,61	0,32	0,1	
			Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO
	1	0,08	0,07	0,12	0,12	0,09	0,05	≤0,01	
	2	0,05	0,06	0,15	0,1	0,06	0,02	≤0,01	
3	0,05	0,09	0,13	0,09	0,07	0,03	≤0,01		
Изверженные породы, Камчатка		ППП*	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	
	1	0,1	56,99	10,6	3,3	18,32	7,77	0,05	
	2	0,08	56,63	10,74	3,51	18,51	7,61	0,05	
	3	0,11	56,59	10,52	3,28	18,6	7,83	0,05	
			Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO
	1	2,01	0,38	0,1	0,11	0,21	0,03	≤0,01	
	2	2,1	0,41	0,12	0,13	0,19	0,07	≤0,01	
3	2,08	0,4	0,1	0,12	0,23	0,06	≤0,01		

\* потери при прокаливании.

где  $C_i$  – концентрация определяемого элемента, полученная в результате проведения эксперимента, мг/л;  $C_{\text{раствор}}$  – концентрация исходной навески исследуемого материала в анализируемом растворе, мг/л;  $M_{r_i \text{ оксид}}$  – молярная масса оксида определяемого элемента, г/моль;  $M_{r_i \text{ элемент}}$  – молярная масса определяемого элемента, г/моль.

**2. Результаты и обсуждение.** Химический состав образцов исследуемых цементов, определенный по методам химии растворов, представлен в табл. 2.

Химический состав образцов исследуемых цементов, определенный по методу ИСП–АЭС, представлен в таблице 3.

Химический состав образцов песка, определенный по методам химии растворов, представлен в табл. 4.

Химический состав образцов песка, определенный по методу ИСП–АЭС, представлен в табл. 5.

Химический состав образцов щебня, определенный по методам химии растворов, представлен в табл. 6.

Химический состав образцов щебня, определенный по методу ИСП–АЭС, представлен в табл. 7.

Таким образом, было проведено 27 испытаний по определению химического состава исследуемых компонентов бетона с использованием методов химии растворов и 27 испытаний тех же самых компонентов бетона по методу ИСП–АЭС с использованием спектрометра iCAP 7200 Duo.

Результаты испытаний, полученные по методу химии растворов, возможно рассматривать как базовые для сравнения с результатами испытаний по рассматриваемому методу ИСП–АЭС.

Оценку сходимости результатов испытаний проводили путем сравнения среднеарифметических значений трех параллельных испытаний для каждого определяемого оксида во всех рассматриваемых компонентах бетона.

Параллельное сравнение результатов анализа методами химии растворов и метода ИСП–АЭС показало высокую сходимость результатов для всех

Таблица 7  
 Table 7

**Химический состав образцов щебня определенный по методу ИСП–АЭС**  
**The chemical composition of crushed stone samples determined by the ICP–AES method**

Тип или марка портландцемента	№ исп.	Содержание оксидов, масс. %							
		–	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	
Щебень, диоритовый карьер	–	–	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	
	1	–	55,19	7,58	5,22	13,52	11,01	0,02	
	2	–	55,31	7,69	5,17	13,65	10,96	0,01	
	3	–	54,98	7,62	5,38	13,43	11,14	0,02	
			Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO
	1	1,65	0,22	0,12	0,65	0,75	0,2	≤0,01	
	2	1,58	0,19	0,09	0,62	0,72	0,19	≤0,01	
3	1,6	0,2	0,1	0,6	0,71	0,21	≤0,01		
Щебень карбонатный, Якутия	–	–	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	
	1	–	2,1	53,54	0,6	0,59	0,32	0,1	
	2	–	2,12	53,92	0,56	0,55	0,28	0,09	
	3	–	2,18	53,58	0,61	0,61	0,3	0,1	
			Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO
	1	0,07	0,07	0,11	0,1	0,10	0,05	≤0,01	
	2	0,05	0,06	0,12	0,12	0,08	0,03	≤0,01	
3	0,06	0,09	0,15	0,09	0,07	0,03	≤0,01		
Изверженные породы, Камчатка	–	–	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	
	1	–	56,96	10,62	3,31	18,29	7,76	0,05	
	2	–	56,68	10,71	3,48	18,45	7,61	0,04	
	3	–	56,7	10,5	3,3	18,55	7,79	0,03	
			Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO
	1	2,01	0,35	0,09	0,13	0,19	0,05	≤0,01	
	2	2,05	0,4	0,1	0,13	0,2	0,04	≤0,01	
3	2,06	0,38	0,1	0,1	0,21	0,05	≤0,01		

исследуемых образцов. Абсолютное отклонение результатов по методу ИСП–АЭС по сравнению с результатами по методам химии растворов для оксидов каждого определяемого элемента не превышает величину 0,05%.

Достижение низкой величины отклонения результатов анализа по методу ИСП–АЭС по сравнению с результатами по методу химии растворов обусловлено оптимальной пробоподготовкой испытуемых образцов, которая позволяет обеспечить практически полное растворение рассматриваемой пробы, а также выбором оптимальных аналитических линий для каждого рассматриваемого элемента (табл. 1).

### Заключение

На основании результатов выполненной экспериментальной работы можно сделать следующие выводы.

Метод ИСП–АЭС является современным, высокоточным и удобным способом определения химического состава различных материалов, включая такие компоненты бетона как цемент, песок и щебень.

Основным достоинством метода ИСП–АЭС применительно для определения химического состава материалов является высокая воспроизводимость получаемых данных и значительно меньшая зависимость от человеческого фактора при проведении испытания по сравнению с методами химии растворов.

Результаты определения химического состава компонентов бетона, полученные по методу ИСП-АЭС, были сопоставлены с результатами определения химического состава тех же самых компонентов методами химии растворов, изложенных в ГОСТ 5382–2019, ГОСТ 8269.1–88 и ГОСТ 8735–97. Абсолютное отклонение результатов по методу ИСП-АЭС по сравнению с результатами по методам химии растворов для оксидов каждого определяемого элемента не превышает величину 0,05%. Данный факт подтверждает высокую эффективность метода ИСП-АЭС применительно для определения химического состава компонентов бетона.

### Список литературы / References

- Hieftje G.M. Atomic emission spectroscopy – it lasts and lasts and lasts. *J. Chem. Educ.* 2000. Vol. 77, pp. 577–583.
- Walsh J.N., Howie R.A. An evaluation of the performance of an inductively coupled plasma source spectrometer for the determination of the major and trace constituents of silicate rocks and minerals. *Mineralogical Mag.* 1980. Vol. 43, pp. 967–974.
- Hieftje G.M. The future of plasma spectrochemical instrumentation. Plenary lecture. *Journal Anal. Atomic Spectrometry.* 1996. Vol. 11, pp. 613–621.
- Jarvis I. Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry in exploration geochemistry. *Journal Geochem. Explor.* 1992. Vol. 44, pp. 139–200.
- Schram D.C. Fundamental description of spectrochemical inductively coupled plasma. *Journal Anal. Atom. Spectrom.* 1996. Vol. 11, pp. 623–632.
- Седых Э.М., Громяк И.Н., Лоренц К.А., Скрипник А.Я., Колотов В.П., Методический подход к анализу горных пород и метеоритов методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой // *Журнал аналитической химии.* 2019. Т. 74. № 4. С. 297–305.
- Sedykh E.M., Gromyak I.N., Lorenz K.A., Skripnik A.Ya., Kolotov V.P., Methodical approach to the analysis of rocks and meteorites by atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma. *Zhurnal analiticheskoi khimii.* 2019. Vol. 74. No. 4, pp. 297–305. (In Russian).
- Тихомирова Э.И., Гулько Н.И., Седых Э.М. Анализ горных пород методом атомно-эмиссионного спектрального анализа // *Журнал аналитической химии.* 1991. Т. 46. № 3. С. 578.
- Tikhomirova E.I., Gulko N.I., Sedykh E.M. Analysis of rocks by atomic emission spectral analysis. *Zhurnal analiticheskoi khimii.* 1991. Vol. 46. No. 3, pp. 578. (In Russian).
- Boumans P.W.J.M. The widths and shapes of about 350 prominent lines of 65 elements emitted by an inductively coupled plasma. *Spectrochim. Acta.* 1986. Vol. 41B, pp.1235–1275.
- Boumans P.W.J.M., DeBoer F.J. An experimental study of a 1 kW, 50 MHz RZ inductively coupled plasma with a pneumatic nebulizer, and a discussion of experimental evidence for a nonthermal mechanism. *Spectrochim. Acta.* 1977. Vol. 32B, pp. 365–395.
- Becker J.S., Seifert G., Saprykin A.I., Dietze H.-J. Mass spectrometric and theoretical investigations into the formation of argon molecular ions in plasma mass spectrometry. *J. Anal. At. Spectrom.* 1996. Vol. 11, pp. 643–648.
- Brenner I.B., Zander A.T. Axially and radially viewed inductively couple plasmas – a critical review. *Spectrochim. Acta.* 2000. Vol. 55B. Iss. 8, pp 1195–1240.
- Steve J. Hill Inductively Coupled Plasma Spectrometry and its Applications. Second edition. Blackwell Publishing Ltd, 2007.
- Gaillat A., Barnes R.M., Ploulx P., Boulos M.I. Computer simulation of enclosed inductively coupled plasma discharges Part 1. Monatomic. *Journal Anal. Atomic Spectrometry.* 1995. Vol. 10, pp. 935–940.
- Gaillat A., Barnes R.M., Ploulx P., Boulos M.I. Computer simulation of enclosed inductively coupled plasma discharges Part 2. molecular gases. *Journal Anal. Atomic Spectrometry.* 1995. Vol. 10, pp. 941–946.
- Томпсон М. Руководство по спектрометрическому анализу с индуктивно связанной плазмой. М.: Недра, 1988. 288 с.
- Thompson M. Rukovodstvo po spektrometricheskomu analizu s induktivno svyazannoi plazmoi [Guide to spectrometric analysis with inductively coupled plasma]. Moscow: Nedra. 1988. 288 p.
- Walsh J.N. The simultaneous determination of the major, minor and trace constituents of silicate rocks using inductively coupled plasma spectrometry. *Spectrochim. Acta.* 1979. Vol. 35B, pp. 107–111.
- Chao T.T., Sanzalone R.T. Decomposition techniques. *Journal Geochem. Explor.* 1992. Vol. 44, pp. 65–106.
- Suhr N.H., Ingamells C.O. Solution technique for analysis of silicates. *Anal. Chem.* 1966. Vol. 38, pp. 730–734.
- Cremer M. Lithium metaborate decomposition of rocks, minerals and ores. J. Schlocker. *American Mineralogist.* 1976. Vol. 61, pp. 318–321.
- Bernas B. A new method for decomposition and comprehensive analysis of silicates by atomic absorption spectrometry. *Anal. Chem.* 1968. Vol. 40, pp. 1682–1686.



М.Ю. ТИТОВ, канд. техн. наук, И.С. КУЗНЕЦОВА, канд. техн. наук,  
М.И. БЕЙЛИНА, инженер-технолог, В.А. ШАБАЛИН, инженер-технолог (niizhb-7@yandex.ru)

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона –  
НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, б. к. 5)

## Применение отходов металлургической промышленности для получения жаростойких бетонов

*Потребность строительной индустрии в разработке и применении строительных материалов с высокими физико-механическими показателями может быть удовлетворена за счет использования дешевых отходов металлургической промышленности – доменных молотых и гранулированных шлаков. Возможность применения доменных шлаков в качестве заполнителей для получения жаростойких бетонов основана на том, что при нагреве до температуры 800°С шлаки имеют более высокую прочность, чем портландцемент и традиционные заполнители. В то же время шлаковые заполнители в 1,2–2 раза дешевле природных и требуют значительно меньших финансовых затрат. Применение шлаковых заполнителей для получения жаростойких бетонов позволит изготавливать жаростойкие конструкции с высокими эксплуатационными характеристиками. Кроме того, использование отходов металлургического производства в виде доменных шлаков улучшает экологическую обстановку, является актуальным решением рециклинга.*

**Ключевые слова:** доменные шлаки, жаростойкий бетон, заполнители, прочность, остаточная прочность, обжиг, сушка, температурная усадка.

**Для цитирования:** Титов М.Ю., Кузнецова И.С., Бейлина М.И., Шабалин В.А. Применение отходов металлургической промышленности для получения жаростойких бетонов // *Бетон и железобетон*. 2022. № 1 (609). С. 31–35. DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-31-35>

M.Yu. TITOV, Candidate of Sciences (Engineering), I.S. KUZNETSOVA, Candidate of Sciences (Engineering), M.I. BELLINA, Engineer, V.A. SHABALIN, Engineer  
Research, Design and Technological institute of Concrete and Reinforced Concrete – NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC “Research Center “Stroitel'stvo”  
(6, build. 5, 2-nd Institut'skaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

### The use of Waste From the Metallurgical Industry for the Production of Heat-Resistant Concrete

The need of the construction industry in the development and application of building materials with high physical and mechanical characteristics can be met through the use of cheap waste from the metallurgical industry – blast furnace ground and granulated slags. The possibility of using blast furnace slag as aggregates for the production of heat-resistant concrete is based on the fact that when heated to a temperature of 800° C, the slags has a higher strength than Portland cement and traditional fillers. At the same time, slag aggregates are 1.2–2 times cheaper than natural ones and require significantly lower financial costs. The use of slag aggregates for the production of heat-resistant concretes will make it possible to produce heat-resistant structures with high operational characteristics. The use of metallurgical waste in the form of blast furnace slag improves the environmental situation.

**Keywords:** blast furnace slags, heat-resistant concrete, fillers, strength, residual strength, firing, drying, temperature shrinkage.

**For citation:** Titov M.Yu., Kuznetsova I.S., Beylina M.I., Shabalin V.A. The use of waste from the metallurgical industry for the production of heat-resistant concrete. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2022. No 1. (609), pp. 31–35. (In Russian).  
DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-31-35>

Принципы государственной политики и приоритетные направления обращения с отходами производства содержатся в Федеральном законе от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления».

В соответствии с Распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 января 2018 г. №84-р разработана стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 г.

Одними из основных отходов металлургической промышленности являются доменные шлаки, которые в отвалах занимают сотни гектаров земли, загрязняя почву и природу. Утилизация отходов металлургиче-

ской промышленности является актуальной экономической и экологической проблемой во всем мире.

Шлаки характеризуются относительно постоянным химическим составом и экологически безопасны.

В нашей стране в промышленности строительных материалов используется только около 20% доменных шлаков, в то время как в высокоразвитых странах до 90%.

В то же время использование доменных шлаков в производстве различных видов строительных материалов является актуальной задачей, так как это дает возможность получать материалы с целым рядом специфических свойств, значительно снижая материало- и энергоемкость производства.

Возможность использования доменных шлаков для жаростойкого бетона была инициирована и доказана российскими учеными: В.М. Москвиным, К.Д. Некрасовым, В.В. Жуковым, П.П. Будниковым и др., а также зарубежными учеными – А.Е. Баренбергом, Р.Р. Даудом, Т.В. Паркером [1–5].

Возможность использования доменных шлаков для получения жаростойких бетонов основана на том, что при нагреве до 800°C шлаки имеют более высокую прочность, чем портландцемент. Кроме того, шлаковый щебень в 1,5–2 раза дешевле природного и требует приблизительно в пять раз меньше финансовых затрат.

Жаростойкий бетон представляет собой специальный вид бетона, который под длительным действием высоких температур способен сохранять заданные физико-механические характеристики, регламентируемые по ГОСТ 20910–2019 «Бетоны жаростойкие. Технические условия».

Жаростойкие бетоны применяются для изготовления несущих строительных конструкций, работающих в условиях повышенных и высоких технологических (эксплуатационных) температур, а также в качестве жаростойких футеровок в тепловых агрегатах на предприятиях химической промышленности, черной и цветной металлургии, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, промышленности строительных материалов и др. (газоходы, борова, паровые котлы, фундаменты тепловых агрегатов, печи, трубы, плиты коксовых батарей и пр.).

Применение жаростойких бетонов позволяет значительно сократить сроки строительства и ремонта тепловых агрегатов, снизить себестоимость и трудоемкость процессов [6, 7] (Рекомендации по подбору составов бетонных смесей для тяжелых и мелкозернистых бетонов. Методическое пособие. М., 2016).

В качестве заполнителя для жаростойкого бетона возможно применение гранулированного доменного шлака, являющегося отходом черной металлургии и получаемого при охлаждении чугуна во время его выплавки. Доменный шлак негранулированного типа добывают в процессе воздушного охлаждения отходов металлургии, их дробления и последующего грохочения.

Если говорить о свойствах шлака доменного, то он отличается высоким сопротивлением к измельчению, реакционной способностью и стабильностью.

Доменный шлак представляет собой многокомпонентную систему. Трудно установить строгое количественное изменение свойств шлака при одновременном изменении содержания в нем нескольких составляющих.

Основные составляющие доменного шлака – кварц, оксиды алюминия, кальция и магния, на кото-

рые может приходиться 85–90% всего состава шлака. Остальные 15–10% могут включать марганец, соединения железа и серы и примеси других элементов. Однако следует отметить, что основные оксиды, входящие в состав шлака, не встречаются в свободной форме. В доменном шлаке, охлажденном воздухом, оксиды объединяются в различные силикаты и алюмосиликатные минералы, такие как мелилит, мервинит, волластонит и др., которые также существуют в виде природных пород. В дробленном и молотом шлаках данные элементы присутствуют в виде стекла.

Имея подобную химико-минералогическую природу с портландцементом, доменные шлаки, реагируя с гидроксидом кальция, обеспечивают хорошее сцепление цементного камня с заполнителем, высокую прочность и повышенную долговечность бетона.

Химический состав шлаков варьируется в некоторых пределах, поскольку варьируется сырье, загружаемое в доменную печь [8, 9]. Поэтому применение доменного гранулированного и дробленого доменных шлаков в качестве заполнителей для жаростойких бетонов заданного качества требует проведения специальных исследований по подбору составов бетонов и испытаний характерных свойств.

В настоящей работе приведены результаты исследований жаростойкого бетона класса по прочности при сжатии В25 и класса по предельно допустимой температуре применения ИЗ, изготовленного с применением молотого доменного гранулированного и дробленого шлаков ПАО «Северсталь».

При нагревании железобетонных конструкций деструктивные процессы протекают не только в цементном камне, но и в заполнителях. Обычные силикатные и карбонатные заполнители используются для изготовления тяжелых бетонов, работающих в условиях воздействия температуры не выше 200°C. Заполнители для жаростойких бетонов с температурой применения свыше 200°C не должны разрушаться при длительном действии высоких температур и не должны быть источником внутренних напряжений в структуре конструкций.

Для разработки составов жаростойких бетонов ВР Р В25 F300 W6 ИЗ ГОСТ 20910–2019 «Бетоны жаростойкие. Технические условия» были использованы следующие сырьевые материалы:

- вяжущее – портландцемент ПЦ 500Д0 Н;
- мелкий заполнитель – шамотный порошок фракции 1–3 мм;
- крупный заполнитель – щебень фракционированный из дробленого доменного шлака для дорожного строительства фракции 10–20 мм производства ПАО «Северсталь» с характеристиками: насыпная плотность – 1160 кг/м<sup>3</sup>; прочность – 1000 кг/м<sup>3</sup>; морозостойкость – F200; содержание СаО – 35,5%;

содержание  $\text{SiO}_2$  – 33,3%; содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 7,9%; содержание  $\text{MgO}$  – 10%; содержание посторонних примесей – 1,4%; суперпластификатор – эффективная суперпластифицирующая добавка Sika Visco Grete 5600SP (ТУ 2493-00913613997–2011). Основа добавки – водные композиции модифицированных поликарбоксилатных эфиров.

Изготовление экспериментальных составов жаростойких бетонов и серий опытных образцов-кубов размерами 100×100×100 мм производилось в лаборатории № 7 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева в соответствии с положениями ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам». После изготовления образцы помещались в камеру нормального твердения, где хранились в течение 7 сут.

Определение прочности при сжатии опытных образцов-кубов производилось в проектном и промежуточном возрасте после режимов твердения и сушки в соответствии с положениями ГОСТ 10180–2012 и ГОСТ 18105–2010 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности». Класс по прочности при сжатии бетонов оценивался по схеме Г ГОСТ 18105–2010 в возрасте 28 сут.

Определение остаточной прочности при сжатии разработанного состава жаростойкого бетона класса И3 производилось по методике приложения А ГОСТ 20910–2019 после нагрева до предельно допустимой температуры применения 300°C после режимов твердения и сушки при  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ , согласно таблице А.1 ГОСТ 20910–2019.

После режимов твердения при температуре 20°C в течение 7 сут и сушки при температуре  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$  в течение 48 ч образцы помещали в электрическую печь ЭКПС-300 с автоматическим режимом подъема и регулирования температуры. Нагрев образцов-кубов жаростойкого бетона до температуры 300°C производился со скоростью подъема температуры 150°C/ч с последующей изотермической выдержкой в течение 4 ч и охлаждением до 20°C в пространстве печи (рис. 1). Далее образцы помещались на стеллаж над водой, где хранились в течение 7 сут (рис. 2).

Прочность бетона BR P B25 И3 в промежуточном



Рис. 1. Нагрев образцов в муфельной печи  
Fig. 1. Heating of samples in a muffle furnace

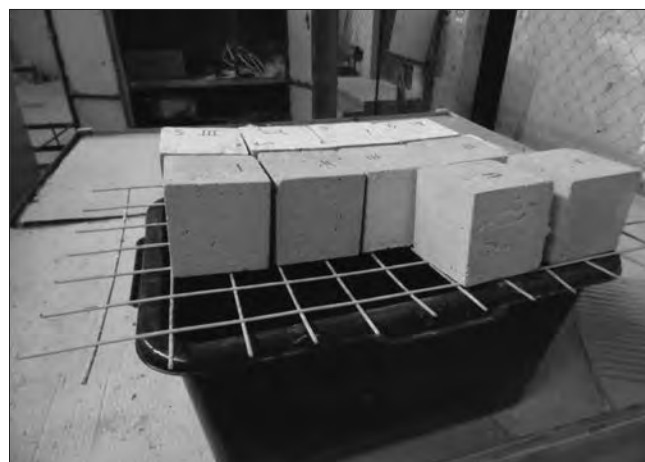


Рис. 2. Выдержка образцов над водой в течение 7 суток после нагрева  
Fig. 2. Exposure of samples above water for 7 days after heating

и проектном возрасте представлена в табл. 1.

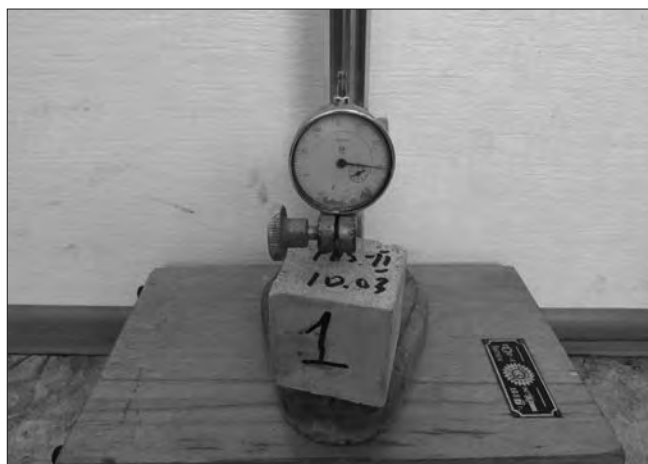
Остаточная прочность определяется в процентах как отношение прочности бетона при сжатии после нагрева до предельно допустимой температуры к прочности бетона в проектном возрасте.

По результатам лабораторных испытаний установлено, что остаточная прочность при сжатии образцов из разработанного состава жаростойкого бетона после нагрева до 300°C составила 43,18 МПа, что ниже прочности в проектном возрасте на 6% и соответствует требованиям ГОСТ 20910–2019 (снижение прочно-

Таблица 1  
Table 1

Прочность при сжатии жаростойкого бетона BR P B25 И3 в промежуточном и проектном возрасте  
Compressive strength of heat-resistant concrete BR PB 25 I3 in intermediate and design age

Возраст бетона	После твердения в нормальных условиях (без сушки)		После твердения в нормальных условиях и сушки при температуре $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$	
	Прочность при сжатии, МПа	Класс бетона	Прочность при сжатии, МПа	Класс бетона
2 сут (промежуточный)	13,67	–	–	–
17 сут (промежуточный)	23,99	–	–	–
28 сут (проектный)	39	B30	45,8	B35



сти после нагрева не более 20%). Внешних дефектов

Рис. 3. Испытания образцов на усадку

Fig. 3. Shrinkage testing of samples

в образцах-кубах после обжига до 300°C не выявлено.

Проведены исследования предельного значения температурной усадки исследуемых составов жаростойких бетонов по методике приложения Г ГОСТ 20910–2019 (рис. 3).

Усадка ( $\xi$ , %) определяется по формуле:

$$\xi = \frac{l - l_1}{l} \times 100\%$$

где  $l$  – среднее значение размера образца после твердения, мм;  $l_1$  – среднее значение размера образца после нагревания, мм.

Результаты исследований температурной усадки представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, коэффициент температурной усадки после нагрева до 300°C составил 0,57%, что соответствует требованию п. 4.4.15 ГОСТ 20910–2019.

Определение марки по водонепроницаемости (W) разработанного состава жаростойкого бетона BR P B25 И3 (табл. 1) проводили на шести образцах в виде цилиндрических пластин диаметром 150 мм и толщиной 50 мм в соответствии с методикой ГОСТ 12730.5–2018 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости».

Разработанный состав жаростойкого бетона BR P B25 И3 характеризуется маркой по водонепроницаемости W10.

Определение марки по морозостойкости (F) разработанного состава жаростойкого бетона BR P B25 И3 проводили на образцах-кубах размерами 10×10×10 см по методике ГОСТ 10060–2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» (третий ускоренный метод в 5%-м водном растворе хлорида натрия). Морозо-

Таблица 2  
Table 2

Результаты определения усадки образцов-кубов, изготовленных из жаростойкого бетона BR P B25 И3  
Results of determination of shrinkage of cube samples made of heat-resistant concrete BR PB 25 I3

Размеры, см (схема 1)	Маркировка образца					
	ИЗ-1		ИЗ-2		ИЗ-3	
	До сушки $l$	После нагрева $l_1$	До сушки $l$	После нагрева $l_1$	До сушки $l$	После нагрева $l_1$
Дата	10.08.2021		10.08.2021		10.08.2021	
a	10	10	10	10,98	10,05	7,02
b	10,11	10,05	10,10	10,07	10,1	7,05
h	10,1	10,04	10,15	10,1	10,2	7,16
Сумма измерений	30,21	31,09	31,25	31,15	31,35	21,23
Усадка ( $\xi$ ), %	0,6		0,5		0,6	
Средняя усадка	0,57%					

Таблица 3  
Table 3

Результаты определения марки по водонепроницаемости разработанного состава жаростойкого бетона BR P B25 И3  
The results of the determination of the waterproof grade of the developed composition of heat-resistant concrete BR PB I 3

№ образца	Диапазон $T_{i,c}$	Марка бетона по водонепроницаемости $W_i$	Среднее значение марки по водонепроницаемости бетона W
1	2	3	W10
1	182	8	
2	190	10	
3	240	10	
4	244	10	
5	263	12	
6	265	12	

стойкость состава жаростойкого бетона ВР Р В25 И3 составила  $F_1100$ .

### Выводы

В результате проведенных исследований получен жаростойкий бетон ВР Р В30 И3 по ГОСТ 20910 со следующими характеристиками:

- прочность при сжатии – класс В35;
- класс бетона по предельно допустимой температуре применения – И3;
- остаточная прочность после нагрева до 300°C – 0,6%;
- коэффициент температурной усадки бетона – 0,57%;
- морозостойкость –  $F_1100$ ;
- водонепроницаемость – W10.

Проведенные исследования показали, что молотый дробленый шлак может быть использован для получения жаростойких бетонов с заданными эксплуатационными характеристиками. Доменные шлаки, вводимые в состав жаростойкого бетона в качестве заполнителей, позволяют обеспечить требуемые прочностные характеристики бетонов и заданные свойства, а также использовать состав в качестве конструкционного жаростойкого бетона. Такие бетоны могут быть использованы для типовых изделий различного назначения, например для элементов промышленных и бытовых отопительных и нагревательных систем, футеровок камер сгорания.

### Список литературы

1. Баженов Ю.М., Дворкин Л.И. Ресурсосбережение в строительстве за счет применения побочных промышленных продуктов. М.: ЦМИПКС, 1986. 66 с.
2. Волженский А.В., Буров Ю.С., Виноградов Б.Н., Гладких К.В. Бетоны и изделия из шлаковых и зольных материалов. М.: Издательство литературы по строительству, 1969. 392 с.
3. Будников П.П., Значко-Яворский И.Л. Гранулированные доменные шлаки и шлаковые цементы. М.: Промстройиздат, 1953. 224 с.
4. Волженский А.В. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве // *Строительные материалы*. 1986. № 5. С. 28–30.
5. Применение молотого доменного гранулированного шлака в строительстве США // *ВНИИИТПИ. Сер. Строительные конструкции и материалы*. 2002. № 1. С. 28–32.
6. Смирнов Д.С., Рахимов Р.З., Стоянов О.В. Влияние добавок молотых шлаков на жаростойкость цементного камня // *Вестник Казанского техноло-*

- гического университета*. 2014. Т. 17. № 6. С. 48–50.
7. Малькова М.Ю. Жаростойкие бетоны на шлаковом вяжущем // *Конструкции из композиционных материалов*. 2006. № 2. С.23–25.
8. Миронов В.А., Белов В.В., Голубев А.И., Смирнов М.А. Оптимизирование композиций для изготовления строительных смесей. СПб.: РИА «Квинтет», 2008. 416 с.
9. Баженов Ю.М. Технология бетонов XXI века. Новые научные направления строительного материаловедения: материалы докладов Академических чтений РААСН. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. С. 9–19.

### References

1. Bazhenov YU.M., Dvorkin L.I. Resursosberezhenie v stroitel'stve za schet primeneniya pobochnyh promyshlennyh produktov [Resource saving in construction through the use of by products of industrial production]. Moscow: CMIPKS. 1986. 66 p.
2. Volzhenskij A.B., Burov YU.S., Vinogradov B.N., K.V. Gladkih Betony i izdeliya iz shlakovyh i zol'nyh materialov [Concrete and products from slag and ash materials]. Moscow: Izdatelstvo literatury po stroitel'stvu. 1969. 392 p.
3. Budnikov P.P., Znachko-Yavorskij I.L. Granulirovanye domennye shlaki i shlakovye cement [Granulated blast furnace slags and slag cements]. Moscow: Promstrojizdat, 1953. 224 p.
4. Volzhenskij A.B. Complex processing and use of metallurgical slags in construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 1986. No. 5, pp. 28–30. (In Russian).
5. The use of ground blast-furnace granulated slag in US construction. *VNIINTPI. Ser. Stroitel'nye onstrukcii i materialy*. 2002. No. 1, pp. 28–32. (In Russian).
6. Smirnov D.S., Rakhimov R.Z., Stoyanov O.V. Influence of additives of ground slags on the heat resistance of cement stone. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2014. Vol. 17. No. 6, pp. 48–50. (In Russian).
7. Malkova M.Yu. Heat-resistant concretes based on slag binder. *Konstrukcii iz kompozitsionnyh materialov*. 2006. No. 2, pp. 23–25. (In Russian).
8. Mironov V.A., Belov V.V., Golubev A.I., Smirnov M.A. Optimizirovanie kompozitsij dlya izgotovleniya stroitel'nyh smesey: Nauchnoe izdanie [Optimization of compositions for the manufacture of building mixtures: Scientific publication.] Saint Petersburg: RIA «Quintet». 2008. 416 p.
9. Bazhenov Yu.M. Technology of concrete of the XXI century. Belgorod: Publishing house BSTU. V.G. Shukhov. 2005, pp. 9–19. (In Russian).

З.У. БЕППАЕВ, канд. техн. наук (beton61@mail.ru), Л.Х. АСТВАЦАТУРОВА, старший научный сотрудник (beton61@mail.ru), С.А. КОЛОДЯЖНЫЙ, научный сотрудник (beton61@mail.ru), С.А. ВЕРНИГОРА, младший научный сотрудник (nk1956@yandex.ru), В.В. ЛОПАТИНСКИЙ, инженер (labor9@mail.ru)

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона – НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6)

## Определение физико-технических характеристик рециклингового щебня из боя керамического кирпича с выявлением перспектив его применения в качестве заполнителей для бетонов

Приведены результаты определения насыпной плотности, зернового состава и марки по дробимости рециклингового щебня из боя керамического кирпича, полученного при дроблении (утилизации) фрагментов кирпичной кладки, и оценена перспективность его применения для производства бетонов общестроительного назначения. Рециклинговый щебень из боя керамического кирпича представляет собой материал (продукт), получаемый дроблением некондиционного керамического кирпича, керамических камней, фрагментов кирпичной кладки на их основе, а также бетонных и железобетонных конструкций и изделий с заполнителями из боя керамического кирпича. Выявлено, что рециклинговый щебень, получаемый дроблением фрагментов кирпичной кладки на основе керамического кирпича, состоит преимущественно из зерен кирпичного боя, зерен раствора, а также агрегированных в единый конгломерат зерен кирпичного боя и раствора различных фракций. Насыпная плотность щебня из боя керамического кирпича варьируется в пределах от 938 до 1006 кг/м<sup>3</sup>. Дробимость щебня из боя керамического кирпича варьируется от 25,6 до 27,7 МПа. В результате проведенных исследований выявлено, что исследуемые материалы пригодны для применения в качестве заполнителей при производстве бетона. Однако документы, нормирующие единые требования к рециклинговому щебню из дробленого кирпича и кирпичной кладки, в РФ отсутствуют. Для широкого применения в строительной отрасли рециклингового щебня необходимо проведение комплекса экспериментальных работ с разработкой нового ГОСТа.

**Ключевые слова:** рециклинг, рециклинговый щебень из боя керамического кирпича, безотходность технологического процесса, вторичное использование материалов.

**Для цитирования:** Беппаев З.У., Аствацатурова Л.Х., Колодяжный С.А., Вернигора С.А., Лопатинский В.В. Определение физико-технических характеристик рециклингового щебня из боя керамического кирпича с выявлением перспектив его применения в качестве заполнителей для бетонов // *Бетон и железобетон*. 2022. № 1 (609). С. 36–42. DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-36-42>

Z.U. BEPPAEV, Candidate of Sciences (Engineering) (beton61@mail.ru), L.H. ASTVATSATUROVA, Senior Researcher (beton61@mail.ru), S.A. KOLODYAZHNY, Researcher (beton61@mail.ru), S.A. VERNIGORA, Junior Researcher (nk1956@yandex.ru), V.V. LOPATINSKY, Engineer (labor9@mail.ru)

Research, Design and Technological institute of Concrete and Reinforced Concrete – NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC “Research Center “Stroitel’stvo” (6, build. 5, 2-nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

### Determination of Physical and Technical Characteristics of Recycling Crushed Stone from the Breakages of Ceramic Bricks with the Identification of Prospects for its Use as Aggregates for Concrete

The results of determining the bulk density, grain composition and grade by the crushing capacity of recycled crushed stone from the breakages of ceramic bricks obtained by crushing (utilization) fragments of brickwork are presented and the prospects of its use for the production of concretes for general construction purposes are evaluated. Recycling crushed stone from the breakages of ceramic bricks is a material (product) obtained by crushing substandard ceramic bricks, ceramic stones, fragments of brickwork based on them, as well as concrete and reinforced concrete structures and products with aggregates from the breakages of ceramic bricks. It was revealed that the recycling crushed stone obtained by crushing fragments of brickwork based on ceramic bricks consists mainly of brick breakage grains, mortar grains, as well as brick fight grains and mortar of various fractions aggregated into a single conglomerate. The bulk density of crushed stone from the breakage of ceramic bricks varies from 938 to 1006 kg/m<sup>3</sup>. The crushing capacity of crushed stone from the breakages of ceramic bricks varies from 25.6 to 27.7 MPa. As a result of the research conducted, it was revealed that the materials under study are suitable for use as aggregates in the production of concrete. However, there are no documents regulating uniform requirements for recycling crushed stone from crushed bricks and masonry in the Russian Federation. For wide application in the construction industry of recycling crushed stone, it is necessary to carry out a complex of experimental works with the development of a new GOST.

**Keywords:** recycling, recycling crushed stone from the breakage of ceramic bricks, waste-free technological process, secondary use of materials.

**For citation:** Bepbaev Z.U., Astvatsaturova L.H., Kolodyazhny S.A., Vernigora S.A., Lopatinsky V.V. Determination of physical and technical characteristics of recycling crushed stone from the breakages of ceramic bricks with the identification of prospects for its use as aggregates for concrete. *Beton i Zhelezobeton [Concrete and Reinforced Concrete]*. 2022. No. 1 (609), pp. 36–42. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-36-42>

В настоящее время производить качественные строительные материалы многих видов можно, используя отходы различных производств взамен традиционного исходного (природного) сырья. Такой подход позволяет сочетать производство строительной продукции с решением экологических проблем и проблем энерго- и ресурсосбережения [1–8].

Одним из таких направлений в производстве бетонов и частично строительных растворов является использование вторичного строительного сырья, в том числе рециркулируемых материалов, обладающих потенциалом многократного использования. Такое направление повышает эффективность производства и отвечает концепции бережливого производства, основной нормативной базой которой является ГОСТ Р 56020–2020 «Бережливое производство. Основные положения и словарь».

Во всех цивилизованных странах проблеме отходов, образующихся в процессе производства, в том числе образующихся при утилизации элементов кирпичной кладки и некондиционного кирпича, уделяется большое внимание. В частности, в странах Евросоюза принята устойчиво развивающаяся концепция (нашедшая отражение в нескольких директивах, принятых в начале 90-х гг. прошлого века), заключающаяся в создании системы рециклинга и вторичном использовании материалов. При этом практически предотвращается (или значительно уменьшается) образование отходов и оптимизируется процесс их вторичной обработки. В частности, в Великобритании с целью сохранения природных ресурсов и стимулирования рециклинга введен налог на применение каждой тонны природного заполнителя (первичного сырья) в размере 1,6 фунта стерлингов. Большое значение применению рециклинговых заполнителей для производства бетона придается и в Германии. Она является первой страной, которая создала свои национальные рекомендации о рециклинговом бетоне.

В США большое значение в стимулировании организации производства вторичного сырья из отходов имеет регулирование на уровне государства и на уровне отдельных штатов. Затраты предприятий и правительства на мероприятия, направленные на защиту окружающей среды, составляют более 90 млрд долл. США, 60% из которых расходуется предпринимателями.

В Японии уделяется особое внимание вопросам использования вторичного сырья. Высокие темпы развития промышленного производства привели к проблеме чрезвычайно высокого уровня загрязнения окружающей среды на рубеже 60-х гг. прошлого века. Большие земельные территории становились непригодными для хозяйственной деятельности и для жизни в связи с массовым захоронением отходов. В 1967 г.

был принят «Основной закон об охране окружающей среды». Основной концепцией закона является возложение обязанностей за переработку отходов на предприятия – производители отходов.

Таким образом, в концепции обращения с отходами (одобренной ведущими развитыми странами мира) действует четкая иерархия методов обращения с отходами, при которой наиболее предпочтительным путем их утилизации является рециклинг, т. е. процесс переработки и возвращения отходов в повторный оборот в качестве кондиционного товара.

Для Российской Федерации использование вторичных ресурсов и внедрение системы рециклинга в производственный процесс являются весьма перспективным направлением. В настоящее время переработка вторичных ресурсов не выделена в особый объект государственного регулирования – Федеральный закон № 89-ФЗ от 24 июня 1998 г. «Об отходах производства и потребления» с изменениями, внесенными Федеральным законом от 28 июля 2012 г. №128-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления», не рассматривает отходы как вторичные материальные ресурсы. В то же время в Распоряжении Правительства Российской Федерации № 868-р от 10 мая 2016 г., «Стратегия развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года» отмечается низкий уровень вовлечения отходов производства и потребления в новое производство (п. 8, стр. 19).

Использование вторичных ресурсов, а также масштабное освоение и внедрение системы рециклинга в производственный процесс Российской Федерации отвечают основным положениям Указа Президента Российской Федерации № 176 от 19 апреля 2017 г.: утверждена Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 г.

Приоритетными направлениями в этом документе, в частности, являются:

— развитие системы эффективного обращения с отходами производства и потребления, создание индустрии утилизации, в том числе повторного применения таких отходов;

— стимулирование внедрения наилучших доступных технологий, создание удовлетворяющих современным экологическим требованиям и стандартам объектов, используемых для размещения, утилизации, переработки и обезвреживания отходов производства и потребления, а также увеличение объема повторного применения отходов производства и потребления за счет субсидирования и предоставления налоговых и тарифных льгот, других форм поддержки.

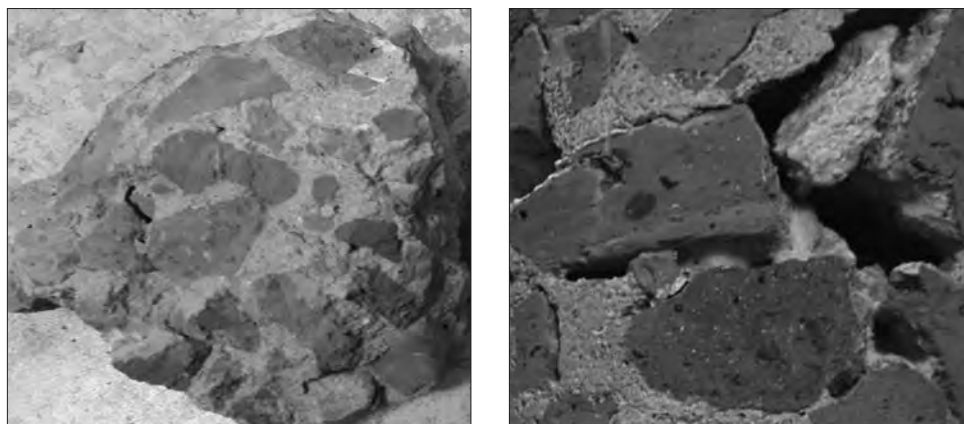


Рис. 1. Общий вид фрагментов бетона на щебне из боя керамического кирпича  
 Fig. 1. General view of concrete fragments on crushed stone from ceramic brick breakage

В Российской Федерации ежегодный объем строительных отходов (в том числе при утилизации каменных конструкций и изделий на основе керамического кирпича), образующихся в результате ремонта, реконструкции и сноса зданий, составляет 12–14 млн т. При этом в ближайшие годы объем строительных отходов может увеличиться до 35–45 млн т. В частности, при сносе одного пятиэтажного дома образуется около 15 тыс. т отходов.

Рециклинговый щебень из боя керамического кирпича представляет собой материал (продукт), получаемый дроблением некондиционного керамического кирпича, керамических камней, фрагментов кирпичной кладки на их основе, а также бетонных и железобетонных конструкций и изделий с заполнителями из боя керамического кирпича. Рециклинговый щебень, получаемый из некондиционного керамического кирпича и керамических камней, состоит из зерен кирпичного боя различных фракций. Рециклинговый щебень, получаемый дроблением фрагментов кирпичной кладки на основе керамического кирпича, керамических камней, а также бетонных и железобетонных конструкций с заполнителями из боя керамического кирпича, состоит из зерен кирпичного боя, зерен раствора, а также агрегированных в единый конгломерат зерен кирпичного боя и раствора различных фракций. Рециклинговый щебень из боя керамического кирпича представляет собой ценный ресурс для производства бетонных, а также железобетонных конструкций и изделий. Его использование для замены природных и традиционных искусственных заполнителей в бетоне может принести значительные экономические, энергетические и экологические преимущества. Повторное использование вторичного рециклингового кирпичного щебня во многих случаях весьма целесообразно и отвечает принципам концепции «устойчивого развития» («sustainable development»), основные положения которой предусматривают экономию материалов и

энергии, а также уменьшение негативного воздействия на окружающую среду, в том числе сохранение невозможных источников природных ресурсов.

Бетоны на основе рециклингового щебня из боя керамического кирпича в Российской Федерации применялись при строительстве различных зданий и сооружений с конца XIX до 60-х гг. XX в. Такие бетоны использовали при устройстве монолитных

фундаментов, монолитных и сборных колонн, а также плоских и сводчатых монолитных плит перекрытий и покрытия по стальным балкам.

В этих бетонах щебень из керамического кирпича применялся в качестве крупного заполнителя, в качестве мелкого заполнителя использовался кварцевый песок. Щебень из керамического кирпича применялся, как правило, нефракционированный, размеры зерен щебня варьировались от 3 до 50 мм, а иногда до 100 мм [9]. Структура таких бетонов отличалась неоднородностью, высокой пористостью и неравномерным распределением щебня в матрице бетона.

Общий вид фрагментов бетона на щебне из боя керамического кирпича приведен на рис. 1.

До 1946 г. требования к щебню из боя керамического кирпича практически не нормировались. В 1946 г. вступил в действие ГОСТ 3192–46 «Щебень кирпичный и керамический для обычного бетона», далее этот ГОСТ в 1950 г. был заменен на ГОСТ 3192–50 «Щебень кирпичный и керамический для обычного бетона» со следующими основными определениями и требованиями:

- щебень кирпичный и керамический получается дроблением отходов керамического производства или производства обыкновенного или дорожного кирпича (клинкера);
- по крупности зерен, зерновому составу, объему пустот должен удовлетворять требованиям, предъявляемым к гравиям для обычного бетона;
- зерен мельче 5 мм допускается не более 10% по весу, в том числе зерен мельче 0,15 мм – не более 5%;
- предел прочности при сжатии бетона на испытываемом щебне должен быть не менее 120% от требуемой марки бетона;
- содержание сернистых и сернокислых соединений в пересчете на  $SO_3$  для армированного бетона не более 1%, неармированного – не более 3%;
- щебень кирпичный и керамический применяется





Рис. 2. Общий вид щековой дробилки ШДС 180×250  
Fig. 2. General view of the jaw crusher SHCHDS 180×250



Рис. 3. Рециклинговый щебень из боя керамического кирпича: а – полученный из кирпичной кладки с раствором; б – полученный из кирпича без раствора  
Fig. 3. Recycled crushed stone from broken ceramic bricks: a – obtained from brickwork with mortar; b – obtained from brick without mortar

для бетона и железобетона марок до М150 надземных конструкций, не насыщаемых водой, а также для фундаментов зданий III класса;

– приемка, отбор средней пробы, методы испытаний те же, что и у гравия для обычного бетона.

До 15 февраля 1960 г. щебень из боя керамического кирпича для производства бетонов применялся в соответствии с положениями ГОСТ 3192–50. 15 февраля 1960 г. ГОСТ 3192–50 был отменен без последующей замены.

Рециклинговый щебень из боя керамического кирпича того времени, как правило, имел насыпную плотность 800–900 кг/м<sup>3</sup>; с его применением получали бетоны плотностью 1800–2000 кг/м<sup>3</sup>, т. е. на 15–20% легче, чем на обычных тяжелых заполнителях.

Для определения насыпной плотности, зернового состава и марки по дробимости щебня из боя керамического кирпича сотрудниками Лаборатории № 9 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева были проведены комплексные экспериментальные исследования. Для проведения работ из стен реконструируемого зда-

ния (построенного в середине XX в.) были отобраны фрагменты кирпичной кладки, затем дроблением этих фрагментов были получены пробы рециклингового щебня двух видов (типов):

- рециклинговый щебень непосредственно из кирпичной кладки с раствором;
- рециклинговый щебень из кирпича без наличия раствора.

Для изготовления рециклингового щебня использовали щековую дробилку марки ШДС 180×250 производства ООО «Уральский завод котельного оборудования». Размер выходной щели щековой дробилки составлял 20 мм. Общий вид щековой дробилки приведен на рис. 2.

Осмотр полученных проб показал, что рециклинговый щебень, полученный дроблением кирпичной кладки, состоит из зерен кирпичного боя, из зерен раствора, а также агрегированных

в единый конгломерат зерен кирпичного боя и раствора различных фракций. Рециклинговый щебень, полученный из кирпича без раствора, состоит из зерен кирпичного боя различных фракций. Инородные неорганические и органические примеси в рециклинговом щебне отсутствовали.

Определение насыпной плотности, зернового состава и марки по дробимости рециклингового щебня проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 8269.0–97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний».

Требования к насыпной плотности, зерновому составу и марке по дробимости рециклингового щебня определяли в соответствии с ГОСТ 8267–93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия».

Результаты определения насыпной плотности, зернового состава и марки по дробимости рециклингового щебня приведены в табл. 1–6.

Таблица 1  
Table 1

Насыпная плотность рециклингового щебня, полученного дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором)  
Bulk density of recycling crushed stone obtained by crushing fragments of brickwork (with mortar)

Щебень фракций, мм	Объем пробы, м <sup>3</sup>	Масса цилиндра, кг	Масса пробы, кг	Насыпная плотность пробы, кг/м <sup>3</sup>	Среднее значение насыпной плотности щебня, кг/м <sup>3</sup>
5–20	0,005	1,965	4,788	958	948
5–20	0,005	1,965	4,69	938	

Таблица 2  
Table 2

Насыпная плотность рециклингового щебня, полученного дроблением кирпича без раствора  
Bulk density of recycled crushed stone obtained by crushing bricks without the presence of mortar

Щебень фракций, мм	Объем пробы, м <sup>3</sup>	Масса цилиндра, кг	Масса пробы, кг	Насыпная плотность пробы, кг/м <sup>3</sup>	Среднее значение насыпной плотности щебня, кг/м <sup>3</sup>
5–20	0,005	1,965	5,03	1006	1002
5–20	0,005	1,965	4,99	998	

Таблица 3  
Table 3

Зерновой состав рециклингового щебня, полученного дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором)  
Grain composition of recycling crushed stone obtained by crushing fragments of brickwork (with mortar)

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	Остатки на ситах			Требования ГОСТ 8267–93, мас. % (полные остатки фр. 5–20)
	Масса, m <sub>i</sub> , г	мас. %		
		Частные, a <sub>i</sub>	Полные	
20	504	10	10	До 10
12,5	2186	43,57	53,57	30–60
10	759	15,13	68,7	–
7,5	600	11,96	80,66	–
5	432	8,61	89,27	90–100
2,5	286	5,7	94,97	95–100
Поддон	250	4,98	100	–

Таблица 4  
Table 4

Зерновой состав рециклингового щебня, полученного дроблением кирпича без наличия раствора  
Results of determining the grain composition of recycling crushed stone obtained by crushing bricks without the presence of mortar

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	Остатки на ситах			Требования ГОСТ 8267–93, мас. % (полные остатки фр. 5–20)
	Масса, m <sub>i</sub> , г	мас. %		
		Частные, a <sub>i</sub>	Полные	
20	337	6,73	6,73	До 10
12,5	1779	35,53	42,26	30–60
10	446	8,91	51,17	–
7,5	562	11,22	62,39	–
5	571	11,40	73,79	90–100
2,5	480	9,59	83,38	95–100
Поддон	832	16,62	100	–

Таблица 5  
Table 5

Марки по дробимости (прочности) рециклингового щебня, полученного дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором)  
Grade by crushing (strength) of recycling crushed stone obtained by crushing fragments of brickwork (with mortar)

Размер фракции/ сита Ø, мм	Масса, г		Дробимость, Др, %	Ср. значения дробимости, Др <sub>ср</sub> , %	Дробимость смеси фракций, Др, %	Марка по дробимости
	проба, m	остаток на сите, m <sub>1</sub>				
от 5 до 10 1,25	233	170	27,04	27,84	27,69	300
	227	162	28,63			
от 10 до 20 2,5	217	157	27,65	27,54		
	226	164	27,43			

Таблица 6  
Table 6

Марка по дробимости (прочности) рециклингового щебня, полученного дроблением кирпича без наличия раствора  
Grade by crushing (strength) of recycling crushed stone obtained by crushing bricks without the presence of mortar

Размер фракции/ сита Ø, мм	Масса, г		Дробимость, Др, %	Ср. значения дробимости, Др <sub>ср</sub> , %	Дробимость смеси фракций, Др, %	Марка по дробимости
	проба, m	остаток на сите, m <sub>1</sub>				
от 5 до 10 1,25	220	162	26,36	25,4	25,58	300
	225	170	24,44			
от 10 до 20 2,5	223	162	27,35	25,75		
	232	176	24,14			

**Выводы**

1. Насыпная плотность рециклингового щебня, полученного дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором), составляет 938–958 кг/м<sup>3</sup>. Насыпная плотность рециклингового щебня, полученного дроблением кирпича без раствора, составляет 998–1006 кг/м<sup>3</sup>. Наличие в составе рециклингового щебня раствора незначительно (на 9–10%) уменьшает насыпную плотность щебня.

2. Рециклинговый щебень, полученный дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором), по зерновому составу практически удовлетворяет требованиям ГОСТ 8267–93. Рециклинговый щебень, полученный дроблением кирпича без раствора, не удовлетворяет требованиям ГОСТ 8267–93. Полные остатки на ситах Ø5 (73,79%) и Ø2,5 (83,38%) меньше минимальных нормируемых значений 90 и 95%. Наличие в составе рециклингового щебня раствора значительно (в 3,3 раза) уменьшает количество мелких (менее 2,5 мм) зерен.

3. Независимо от наличия растворной части в рециклинговом щебне из кирпичного боя основной фракцией щебня являются зерна с размерами от 12,5 до 10 мм, их доля составляет 35,53–43,57%.

4. Марка по дробимости (прочность) рециклингового щебня, полученного дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором), и рециклингового щебня, полученного дроблением кирпича без раствора, составляет 300.

5. По показателям насыпной плотности, зернового состава и марки по дробимости рециклинговый щебень, полученный дроблением фрагментов кирпичной кладки (с раствором), и рециклинговый щебень, полученный дроблением кирпича без раствора, пригодны для применения в качестве крупного заполнителя при производстве бетонов общестроительного назначения.

Однако, в настоящее время в Российской Федерации документы, нормирующие единые требования к рециклинговому щебню из дробленого кирпича и кирпичной кладки, практически отсутствуют. Для широкого применения в строительной отрасли рециклингового щебня необходимо проведение комплекса экспериментальных работ с разработкой нового ГОСТа, что позволит усовершенствовать процессы утилизации каменных, кирпичных конструкций и изделий с завершённым сроком эксплуатации для получения качественного, готового к применению строительного материала.

## Список литературы

1. Беппаев З.У., Аствацатурова Л.Х., Колодяжный С.А., Вернигора С.А. Перспективы применения рециклингового щебня из боя керамического кирпича в качестве заполнителей для производства бетонов общестроительного назначения // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2020. № 1 (24). С. 13–22.
2. Гончарова М.А., Борков П.В., Аль-Суррайви Х.Г.Х. Рециклинг крупнотоннажных бетонных и железобетонных отходов при реализации контрактов полного жизненного цикла // *Строительные материалы*. 2019. № 12. С. 52–57. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-777-12-51-57>
3. Сидорова А.С., Анцупова С.Г., Попов А.Л. Физико-механические характеристики тяжелого бетона с использованием местного вторичного сырья // *Строительные материалы*. 2020. № 9. С. 9–14. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-784-9-9-14>
4. Красиникова Н.М., Кириллова Е.В., Хозин В.Г. Вторичное использование бетонного лома в качестве сырьевых компонентов цементных бетонов // *Строительные материалы*. 2020. № 1–2. С. 56–65. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-56-65>
5. Маркелов А.С., Кадышев И.Д., Давыдова Л.А., Савельева Ю.П., Смирнов И.Ю. Экономика устойчивого строительства: будущее переработки строительных отходов // *Финансовая экономика*. 2021. № 11. С. 256–258.
6. Коробко В.И. Зарубежный опыт переработки отходов строительства и сноса. *Строительство. Экономика и управление*. 2019. № 3 (35). С. 37–40.
7. Пугина В.К. Использование отходов в строительстве. В сборнике: *Наука молодых – будущее России. Сборник научных статей 4-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых*. 2019. С. 308–310.
8. Губанова Л.Н., Пушкарская О.Ю., Алимова Л.А., Акчурин Т.К. Отходы ферросплавного производства добавки высоконаполненных цементных бетонов. В сборнике: *Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов. Материалы VI Международной научно-технической конференции*. 2011. С. 137–141.
9. Беппаев З.У., Аствацатурова Л.Х., Колодяжный С.А., Вернигора С.А. Перспективы применения рециклингового щебня из боя керамического кирпича в качестве заполнителей для производства бетонов общестроительного назначения // *Технологии бетонов*. 2021. № 5. С. 23–28.

## References

1. Beppaev Z.U., Astvatsaturova L.Kh., Kolodyazhny S.A., Vernigora S.A. Prospects for the use of recycled crushed stone from broken ceramic bricks as aggregates for the production of concretes for general construction purposes. *Vestnik NITs Stroitel'stvo*. 2020. No. 1 (24), pp. 13–22. (In Russian).
2. Goncharova M.A., Borkov P.V., Al-Surrayvi H.G.H. Recycling of large-capacity concrete and reinforced concrete waste in the context of realization of full life cycle contracts. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 12, pp. 51–57. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-777-12-52-57>
3. Sidorova A.S., Antsupova S.G., Popov A.L. Physical and mechanical properties of concrete using local secondary raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 9, pp. 9–14. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-784-9-9-14>
4. Krasinikova N.M., Kirillova E.V., Khozin V.G. Reuse of concrete waste as input products for cement concretes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 1–2, pp. 56–65. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-56-65>
5. Markelov A.S., Kadyshchev I.D., Davydova L.A., Savelyeva Yu.P., Smirnov I.Yu. Economics of sustainable construction: the future of processing construction waste. *Finansovaya ekonomika*. 2021. No. 11, pp. 256–258. (In Russian).
6. Korobko V.I. Foreign experience in processing construction and demolition waste. *Stroitel'stvo. Ekonomika i upravleniye*. 2019. No. 3 (35), pp. 37–40. (In Russian).
7. Pugina V.K. Waste use in construction. In the collection: *Science of the young – the future of Russia. Collection of scientific articles of the 4th International scientific conference of promising developments of young scientists*. 2019, pp. 308–310. (In Russian).
8. Gubanova L.N., Pushkarskaya O.Yu., Alimova L.A., Akchurin T.K. Waste from ferroalloy production - additives of highly filled cement concretes. In the collection: *Reliability and durability of building materials, structures and foundations. Materials of the VI International scientific and technical conference*. 2011, pp. 137–141. (In Russian).
9. Beppaev Z.U., Astvatsaturova L.H., Kolodyazhny S.A., Vernigora S.A. Prospects for the use of recycling crushed battle of ceramic bricks as aggregates for production of concrete for general construction purpose. *Tekhnologii betonov*. 2021. No. 5, pp. 23–28.

В.В. РЕМНЁВ, д-р техн. наук, профессор, советник (rema97776952@yandex.ru)

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона – НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, б, к. 5)

## Эффективный бетон повышенной термостойкости для теплозащитных покрытий стартовых сооружений ракетно-космических комплексов

Приведены технологические свойства жаростойкого бетона на жидкостекольном вяжущем. В качестве отвердителя применяются саморассыпающиеся феррохромовые шлаки, позволяющие резко повысить атмосферу и термостойкость таких бетонов. Кроме того, за счет использования замедлителя схватывания жидкостекольного вяжущего повышается скорость возведения монолитных конструкций при требуемом качестве строительства. Получен модифицированный жаростойкий бетон с улучшенными технологическими характеристиками на жидком стекле с добавкой К – замедлителем схватывания, шамотном заполнителе и отвердителе – феррохромовом шлаке, что дало возможность осуществить качественную укладку бетонной смеси в густоармированную конструкцию конуса-газорассекателя без снижения требуемых прочностных и огнестойких характеристик бетона.

**Ключевые слова:** жаростойкие бетоны, жидкостекольные вяжущие, искусственный строительный конгломерат, матрица конгломерата, технология бетонирования конструкций бетонной смесью ЖСВ, тонкомолотый шамот.

**Для цитирования:** Ремнёв В.В. Эффективный бетон повышенной термостойкости для теплозащитных покрытий стартовых сооружений ракетно-космических комплексов // *Бетон и железобетон*. 2022. № 1 (609). С. 43–47. DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-43-47>

V.V. REMNEV, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, (rema97776952@yandex.ru)

Research, Design and Technological institute of Concrete and Reinforced Concrete – NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC “Research Center “Stroitel’stvo” (6, build. 5, 2-nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

### Effective Concrete of Increased Thermal Resistance for Heat Protective Coatings of Starting Facilities of the Rocket and Space Complex

The technological properties of heat-resistant concrete on a liquid-glass binder are presented. Self-disintegrating ferrochrome slags are used as a hardener, which can sharply increase the weather and heat-resistance of such concrete. In addition, due to the use of a retarder for the setting of a liquid-glass binder, the speed of construction of monolithic structures increases with their required construction quality. Modified heat-resistant concrete with improved technological characteristics was obtained on liquid glass with the addition of K-setting retarder, fireclay filler and hardener – ferrochrome slag, which made it possible to carry out high-quality laying of the concrete mixture into a densely reinforced cone-gas separator structure without reducing the required strength and fire-resistant characteristics of concrete.

**Keywords:** heat-resistant concretes, liquid-glass binders, artificial construction conglomerate, conglomerate matrix, technology of concreting structures with a concrete mixture of LCW, finely ground chamotte.

**For citation:** Remnev V.V. Effective concrete of increased thermal resistance for heat protective coatings of starting facilities of the rocket and space complex. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2022. № 1. (609), pp. 43–47. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-43-47>

При разнообразии эксплуатационных условий работы стартовых сооружений ракетно-космических комплексов (РКК), находящихся в условиях агрессивного воздействия наружного воздуха и одновременно резкого перепада температуры, к материалам, из которых они возведены, предъявляются повышенные требования по их физико-механическим свойствам.

Они включают: прочностные характеристики (прочность при сжатии, изгибе и растяжении), морозостойкость, водонепроницаемость, стойкость к агрессивным средам в ходе эксплуатации и др. С точки зрения технологии строительного производства и дальнейшей эксплуатации железобетонных конструкций в агрессивных средах для их возведе-

ния наиболее целесообразно применять бетонные смеси на жидкостекольном вяжущем (ЖСВ).

Как известно, жидкое стекло представляет собой растворенные щелочные силикаты, характеризующиеся статической неупорядоченностью и свойствами кристаллических силикатов. Их твердение обусловлено способностью кремнийсодержащих химических связок (преимущественно с отвердителями) к полимеризации с образованием кремнийполимерного каркаса объемной сетчатой структуры. Способность золя кремнекислоты к полимеризации зависит от pH раствора. Для процесса твердения жидкого стекла традиционно наиболее широко применяется отвердитель – кремнефтористый натрий. Однако составы бетонов на кремнефтористом натрии неустойчивы

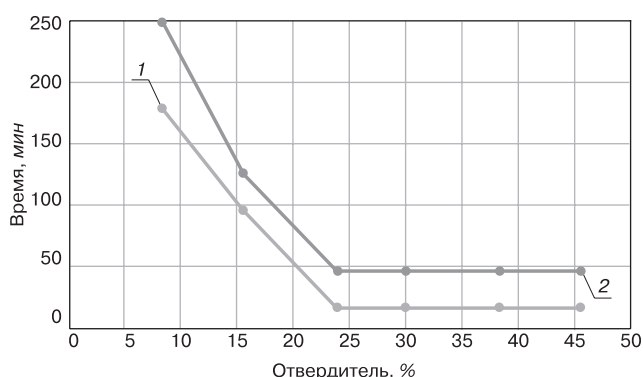


Рис. 1. Зависимость сроков схватывания жидкостекляной матрицы от количества отвердителя: 1 – начало схватывания; 2 – конец схватывания

Fig. 1. Dependence of the setting time of the liquid glass matrix on the amount of hardener: 1 – beginning of setting; 2 – end of setting

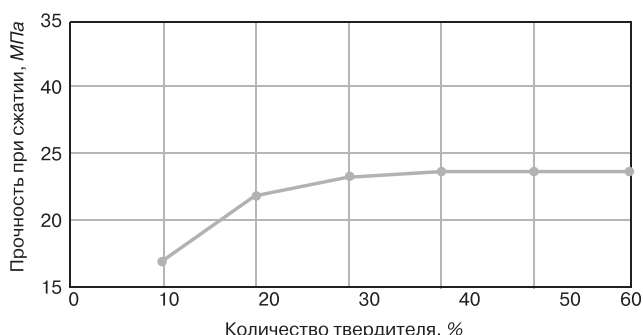


Рис. 2. Зависимость прочности при сжатии матрицы от количества отвердителя при 20°C нормального хранения

Fig. 2. Dependence of the compressive strength of the matrix on the amount of hardener at 20°C normal storage

в водных средах, например в обычных атмосферных условиях.

Как следует из литературных источников, наиболее стойкие в водной среде – бетоны на ЖСВ и с отвердителем в виде саморассыпающихся шлаков феррохромового производства [1–3]. Применение данных шлаков позволяет полностью исключить технологический предел помола отвердителя, что экономически целесообразно.

Определение оптимального количества отвердителя является одним из основных технологических факторов, от которого зависят удобоукладываемость, сроки схватывания и твердения, а также прочностные свойства получаемых бетонов.

Прежде чем рассматривать строительно-технические свойства бетонов на жидкостекляном (силикат-натриевом) вяжущем (ЖСВ), уточним терминологию, принятую в данной статье. Как известно, *искусственными строительными конгломератами (ИСК)* называют строительные материалы со своеобразной конгломератной структурой, к характерным признакам которой относится наличие заполняющей и вяжущей частей. Последняя цементирует

заполнитель и по этой причине играет важную роль в формировании свойств конгломератов. К тому же по своему функциональному назначению и характеру вяжущая часть является своеобразным каркасом (матрицей) в структуре конгломерата. Под *каркасом (матрицей) конгломерата* следует понимать такую часть структуры, которая обладает комплексом признаков:

- достаточной однородностью состава и свойств;
- непрерывностью пространственной сетки, которую образуют эти структуры;
- устойчивостью первоначальной формы сетки и конгломерата при удалении заполняющего компонента (заполнителя);
- повышением или снижением прочности конгломерата при соответственном упрочнении или ослаблении его каркасной (матричной) части;
- повышением или понижением жесткости конгломерата с изменением в том же направлении жесткости его каркаса (матрицы).

В дальнейшем *матрицей* будем называть жидкостекляное или силикат-натриевое вяжущее. Исходные компоненты жидкостекляного вяжущего (матрицы) следующие:

- натриевое жидкое стекло по ГОСТ 13078–2021 «Стекло натриевое жидкое. Технические условия» (силикатный модуль 3);
- тонкомолотый шамот по ГОСТ 23037–99 «Заполнители огнеупорные. Технические условия»;
- феррохромовый шлак по ТУ 14-11-181-89 «Шлаки феррохромовые самораспадающиеся. Технические условия».

Одной из важных характеристик вяжущего являются его сроки схватывания и твердения. Они определялись иголкой Вика по ГОСТ 310.3–76 «Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема». Как показали исследования, сроки схватывания ЖСВ изменяются непропорционально количеству вводимого отвердителя. При увеличении расхода отвердителя от 7,5 до 25% от массы жидкого стекла сроки схватывания снижаются со 180 до 15 мин, а при повышении от 26 до 40% снижаются до 13 мин (рис. 1). Экспериментальные данные указывают на повышение прочности при сжатии матрицы с содержанием отвердителя от 25 до 40% от массы жидкого стекла. Дальнейшее увеличение расхода отвердителя незначительно повышает прочность композиции.

Таким образом, полученный в ходе экспериментальных исследований состав ЖСВ: жидкое стекло – 32,6%; феррохромовый шлак – 8,15%; тонкомолотый шамот – 59,25% является оптимальным по прочности (рис. 2). Однако короткие сроки схватывания

(15 мин) затрудняют качественную укладку смеси в монолитную конструкцию.

Для регулирования сроков схватывания ЖСВ необходим недефицитный, дешевый замедлитель. Анализ литературных источников позволил определить, что неплохой эффект достигается введением в жидкое стекло гидрофобных поверхностно-активных веществ (ПАВ). Благодаря гибкости углеводородных цепей ПАВ обеспечивает более легкое скольжение при перемешивании частиц, на поверхности которых они адсорбируются, образуя тончайший слой. Получаемый эффект смазки очень велик – коэффициент трения между частицами уменьшается почти на три порядка. Возникающий пластифицирующий эффект объясняется «смазочным» действием гидрофобизирующего вещества.

Академик П.А. Ребиндер установил [2], что при кристаллизации растворов, содержащих поверхностно-активные вещества, происходит модифицирование, т. е. изменение формы и размеров растущих кристаллов. Адсорбирующиеся вещества понижают скорость роста граней кристаллов, на которых адсорбция особенно сильна, при сохранении той же кристаллической решетки. Проведенные экспериментальные исследования на эталонном составе (жидкое стекло – 32,6%; феррохромовый шлак – 8,15%; тонкомолотый шамот – 59,25%) показывают, что применение указанных добавок увеличивает сроки схватывания ЖСВ до 26 мин.

В ходе проводимых исследований было изучено влияние добавки К на ЖСВ. Расход добавки находился в пределах 2–14% от массы жидкого стекла. В начале добавка К смешивалась с жидким стеклом в течение 1 мин, затем с предварительно перемешанным тонкомолотым кварцем и феррохромовым шлаком. Анализ полученных данных (рис. 3) показывает, что введение в ЖСВ добавки К существенно изменяет сроки схватывания от 15 мин без добавки до 115 мин при расходе 14% добавки. В то же время разница между началом и концом схватывания практически не зависела от количества введенной добавки и составляла 20 мин.

Определение сроков схватывания обычными методами на приборе Вика не дает полного представления о скорости схватывания композиции из-за образования пленки на поверхности образца. Более точное значение скорости схватывания можно получить методом определения практической прочности с помощью конического пластометра. Измерения практической прочности производили в начальный период (40 мин) через каждые 10 мин, затем через 15 мин. В качестве исследуемого состава была принята жидкостекольная матрица, состоящая из следующих компонентов: жидкого стекла 32,6%; фер-

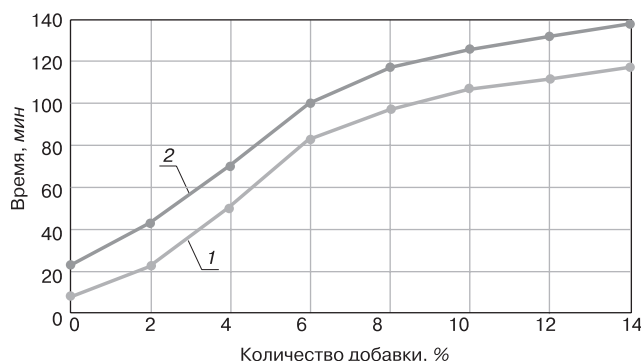


Рис. 3. Зависимость сроков схватывания от количества К: 1 – начало схватывания; 2 – конец схватывания

Fig. 3. Dependence of setting time on the amount of K: 1 – beginning of setting; 2 – end of setting

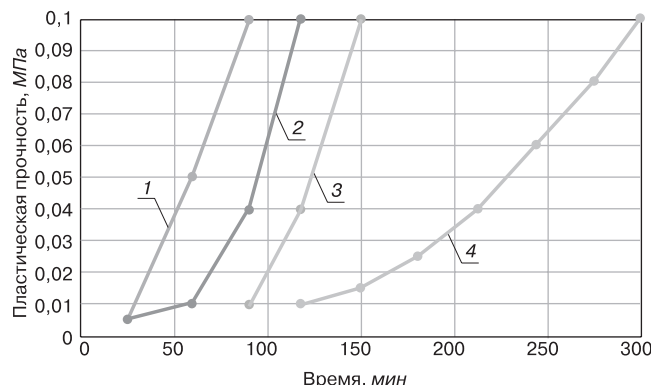


Рис. 4. Изменение пластической прочности ЖСВ, модифицированного добавкой К, во времени: 1 – эталон; 2 – 5%К; 3 – 7%К; 4 – 14%К

Fig. 4. Change in the plastic strength of liquid-glass binder modified with K additive over time: 1 – reference; 2 – 5%K; 3 – 7%K; 4 – 14%K

рохромового шлака 8,15%; тонкомолотого кварца 59,25% при модуле жидкого стекла 3,01 и плотности 1,42 г/см<sup>3</sup>. Количественное влияние расхода К определяли на составах, содержащих 0; 5; 7 и 14% добавки К от массы жидкого стекла. Анализ результатов исследования показал (рис. 4), что повышение количества добавки К значительно увеличивает индукционный период существования коагуляционной структуры. При взаимодействии жидкого стекла с феррохромовым шлаком сразу же идут параллельно процессы коагуляционного и кристаллизационного структурообразования. После начала затворения смесь представляет собой сравнительно грубодисперсную суспензию, в которой протекают процессы, приводящие к образованию коагуляционной структуры. Пластическая прочность на этой стадии очень невелика. Молекулы введенной добавки К предотвращают рост или агрегирование тонкодисперсных частиц. Однако через некоторое время вся введенная добавка адсорбционно связывается и перестает оказывать влияние на дальнейшие процессы структурообразования. В результате наступает такой мо-

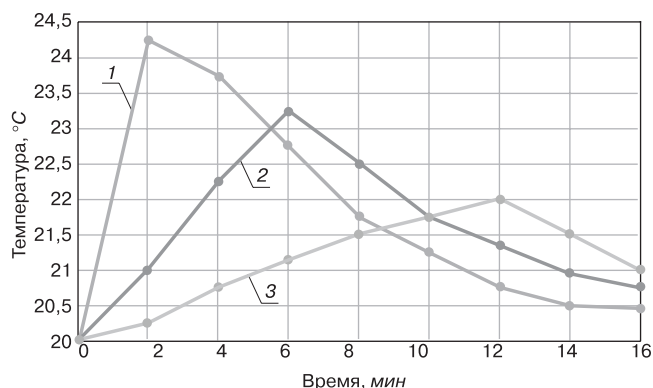


Рис. 5. Кинетика тепловыделения твердеющей смеси, включающей жидкое стекло, феррохромовый шлак, тонкомолотый кварц и добавку К: 1 – эталон; 2 – 7% добавки; 3 – 14% добавки

Fig. 5. Kinetics of heat release of a hardening mixture, including water glass, ferrochrome slag, finely ground quartz and additive K: 1 – reference; 2 – 7% additive; 3 – 14% additive



Рис. 6. Реконструкция РКК на космодроме Байконур

Fig. 6. Reconstruction of the rocket and space complex at the Baikonur cosmodrome

мент, когда вся добавка К будет связана. Этот момент совпадает с резким нарастанием прочности структуры матрицы. Резкий набор прочности происходит тем позднее, чем выше концентрация добавки в системе.

Кристаллизационные структуры возникают в процессе образования новой фазы, когда начинается срастание множества мелких кристалликов, выделяющихся из пересыщенного раствора в плотный кристаллический сросток. Указанная добавка адсорбируется на поверхности в основном выступающих частей кристаллов, препятствуя их непосредственному соединению между собой.

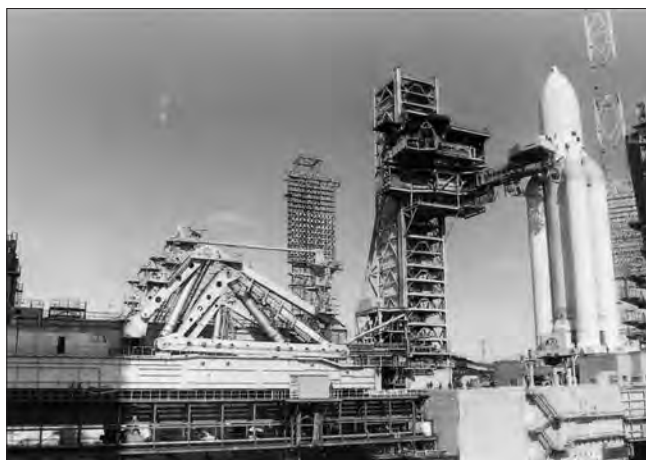
Изучение тепловыделения твердеющей композиции, включающей жидкое стекло, феррохромовый шлак, тонкомолотый кварц и добавку К, позволило установить влияние К на формирование структуры матрицы (рис. 5). Эталонный образец без добавки К в начальный период интенсивно выделяет тепло, затем тепловыделение снижается. Это объясняется следующим образом: начальный этап, когда взаимодействие протекает в водном растворе жидкого стекла, характеризуется наличием развитой поверхности компонентов, большим количеством энергетических связей и увеличенным тепловыделением в начале процесса твердения. На следующем этапе начинается образование продуктов реакции, которые препятствуют быстрому протеканию реакции. На последнем этапе происходит процесс постепенного превращения пластичной смеси в камнеподобное тело. Далее реакции происходят в твердом теле, где их скорости малы [3].

Тепловыделение для составов с 7% и 14% добавки К не столь интенсивно в первый период, процесс растянут во времени, максимумы достигаются через 5,5–10 ч. Следовательно, процесс формирования структуры материала происходит более плавно по времени. Повышение количества К в матрице приводит к снижению тепловыделения. Кремнийорганическая жидкость, обволакивая продукты реакции, препятствует дальнейшему быстрому протеканию процесса твердения. С увеличением добавки максимумы на кривых снижаются и сдвигаются вправо, что свидетельствует о замедлении процесса структурообразования. Равномерное выделение тепла при твердении составов с добавкой К позволяет судить о возможности формирования более однородной, с меньшим внутренним напряжением структуры матрицы.

На основании проведенных исследований были разработаны составы жаростойкого бетона.

Целесообразность использования сухих строительных смесей (ССС) подтверждена зарубежной и российской практикой. Применение СССР позволяет оптимизировать затраты на транспортировку материалов на объект, повысить производительность труда и качество производства работ, эффективно используя средства малой механизации. Кроме





*Рис. 7. Подготовка к старту ракетоносителя «Энергия»  
Fig. 7. Preparation for the launch of the Energia carrier rocket*

того, применение ССС позволяет снизить влияние климатических условий на темпы и качество строительства.

Способ ССС применялся на космодроме Байконур, при реконструкции пусковых сооружений. В 26-м ЦНИИ МО РФ были разработаны жаростойкие составы бетонов для теплозащитных покрытий (ТЗП) стартовых сооружений (СС).

Предварительные производственные испытания дали возможность отработать и принять следующую технологию бетонирования ТЗП жаростойким бетоном на жидкостекольном связующем. В самом начале в расходные контейнеры дозировались сухие составляющие бетона: тонкомолотый шамот, шамотный песок и щебень, а также феррохромовый шлак.

Требуемое в смену количество расходных контейнеров складировалось на реконструируемой площадке в непосредственной близости от бетоносмесителя принудительного перемешивания. Загрузка составляющих осуществлялась в последовательности: вначале подавался расходный контейнер с сухими составляющими, после минутного перемешивания добавляли жидкое стекло с добавкой К – замедлителя схватывания и перемешивали 2 мин. Из бетоносмесителя смесь подавали в пневмобетоннасос и далее в бетонизируемую конструкцию. Темп бетонирования сооружения составлял 20–25 м<sup>3</sup> в сутки.

Укладка бетонной смеси в густоармированную конструкцию газорассекателя пусковых сооружений (рис. 6) производилась при температуре наружного воздуха от +10°C до +30°C как с использованием бетононасоса, так и методом «кран-бадья», уплотнение – навесными и глубинными вибраторами. При этом подвижность бетонной смеси составляла 20–25 см осадки конуса (ОК), а жизнеспособность – до 60 мин. Качество уложенного бетона и его прочностные характеристики соответствовали

заданным требованиям. Суммарный объем жаростойкого бетона, уложенного в сооружения, составил 800 м<sup>3</sup>.

Штатный запуск ракетоносителя, проведенный впоследствии с реконструируемого сооружения, подтвердил требуемое качество теплозащитного покрытия (рис. 7).

Таким образом, проведенные исследования позволили получить модифицированный жаростойкий бетон с улучшенными технологическими характеристиками на жидком стекле с добавкой К – замедлителем схватывания, шамотном заполнителе и отвердителе – феррохромовом шлаке, что дало возможность осуществить качественную укладку бетонной смеси в густоармированную конструкцию конуса-газорассекателя без снижения требуемых прочностных и огнестойких характеристик бетона [3]. Опытно-промышленная апробация добавки К – замедлителя схватывания жаростойкой бетонной смеси на ЖСВ позволила получить ее приведенные характеристики:

- осадка конуса бетонной смеси 21 см;
- сроки схватывания смеси (при t° = 22°C) – 56 мин;
- прочность при сжатии в сроки: 3 сут – 19,3–21,4 МПа; 7 сут – 26,4–27,7 МПа; 28 сут – 29,1–32,3 МПа.

#### Список литературы

1. Тарасова А.П. Жаростойкие вяжущие на жидком стекле и бетоны на их основе. М.: Стройиздат, 1982. 133 с.
2. Ребиндер П.А. Влияние смазочных сред на деформирование сопряженных поверхностей трения в кн.: О природе трения твердых тел. Минск: Наука и техника, 1971. С. 8–20.
3. Ремнёв В.В. Перспективные вяжущие для жаростойких бетонов // *Строительные материалы*. 1995. № 10. С. 2–5.

#### References

1. Tarasova A.P. Zharostoikie vyazhushchie na zhidkom stekle i betony na ikh osnove [Heat-resistant binders on liquid glass and concretes based on them]. Moscow. Stroyizdat. 1982. 133 p.
2. Rebinder P.A. Vliyanie aktivnykh smazochnykh sred na deformirovanie sopryazhennykh poverkhnostei treniya. O prirode treniya tverdykh tel [The influence of active lubricating media on the deformation of mating friction surfaces. On the nature of friction of solids]. Minsk. Nauka i tekhnika. 1971, pp. 8–20.
3. Remnev V.V. Promising binders for heat-resistant concrete. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 1995. No. 10, pp. 2–5. (In Russian).

# Требования к подготовке научно–технической статьи

Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера (до пяти журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Жилищное строительство» для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

**Библиографические списки** цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи.

## НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНИПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.
2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.
3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.
4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

## ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние **2-3 года** в ведущих отраслевых научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.
2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние пять лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

Несомненно, что возможны ссылки и на классические работы, однако не следует забывать, что наука всегда развивается поступательно вперед и незнание авторами последних достижений в области исследований может привести к дублированию результатов, ошибкам в постановке задачи исследования и интерпретации данных.

## Технические требования к предоставляемым материалам

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате \*.doc или \*.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) предоставляется отдельными файлами и должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах \*.cdr, \*.ai, \*.eps соответственно. Все шрифты в кривых. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате \*.tif, \*.psd, \*.jpg (качество «8 – максимальное») или \*.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 85 мм по ширине, цветовая модель **Grayscale**.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); лицензионным договором о передаче права на публикацию; **распечаткой, лично подписанной авторами**; рефератом объемом не менее 100 слов на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Строительные материалы», ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»<sup>®</sup> был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала [www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf](http://www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf)



Международная выставка  
строительных,  
отделочных материалов

и инженерного  
оборудования

19|20|21  
АПРЕЛЯ  
2022

Санкт-Петербург  
КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»



Организатор — компания MVK  
Офис в Санкт-Петербурге



Забронируйте стенд:

[interstroyexpo.com](https://interstroyexpo.com)

+7 (812) 401 69 55, [interstroyexpo@mvk.ru](mailto:interstroyexpo@mvk.ru)

12+

