

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS



УДК 691.328.1

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2025-4-2-49-56>

Оптимизация технологии производства сборного железобетона

Е.А. Шляхова , И.О. Егорочкина 

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ shlyahovae@list.ru



EDN: EHEJVC

Аннотация

Введение. Статья посвящена проблемам повышения эффективности технологии производства сборного железобетона для решения задачи обеспечения требуемых показателей строительно-технических свойств продукции на действующих предприятиях строительной индустрии без дополнительных инвестиционных затрат на их реконструкцию и техническое перевооружение. Целью работы по повышению эффективности производства сборных железобетонных изделий является оптимизация параметров процессов приготовления бетонной смеси и тепловлажностной обработки изготавливаемой продукции за счет разработки двухстадийного способа приготовления бетонной смеси и внедрения в процесс тепловлажностной обработки ступенчатого режима.

Материалы и методы. В статье кратко излагаются содержательные аспекты оптимизации параметров технологических операций по приготовлению бетонной смеси и тепловлажностной обработки сборных железобетонных изделий на примере производства брусовых перемычек типа ПБ. В качестве базового объекта исследований принято производство сборных железобетонных изделий с использованием местных заполнителей с повышенным содержанием пылевато-глинистых частиц, предопределяющим увеличение расхода цемента.

Результаты исследования. Предложенная технология оптимизации режимов производства сборного железобетона позволяет на действующих предприятиях стройиндустрии без дополнительных материальных и инвестиционных затрат на реконструкцию и техническое перевооружение снизить расход цемента и добавки суперпластификатора при использовании местных заполнителей с повышенным содержанием пылевато-глинистых частиц.

Обсуждение и заключение. Применение комплекса разрабатываемых мероприятий улучшает условия бездефектного структурообразования бетона и обеспечивает возможность снижения расхода наиболее дорогостоящих компонентов бетонной смеси — цемента и химической добавки суперпластификатора. Оптимизация технологии производства сборного железобетона обеспечивает направленное структурообразование бетона и достижение на этой основе нормируемых показателей качества продукции. В каждом конкретном случае оптимизации технологических решений на каждом конкретном предприятии обязательным условием является корректировка предложенных в работе рецептурно-технологических решений. Дополнительным эффектом от внедрения разработанных в настоящих исследованиях технологических приемов будет повышение показателей экологического состояния окружающей среды и снижение затрат на обогащение местных заполнителей.

Ключевые слова: технология сборного железобетона, приготовление бетонной смеси, тепловлажностная обработка, оптимизация, повышение качества

Благодарности. Авторы выражают благодарность редакции и рецензентам за внимательное отношение к статье и указанные замечания, которые позволили повысить ее качество.

Для цитирования. Шляхова Е.А., Егорочкина И.О. Оптимизация технологии производства сборного железобетона. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2025;4(2):49–56. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2025-4-2-49-56>

Optimization of precast concrete production technology

Elena A. Shlyakhova , Inna O. Egorochkina 

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ shlyahovae@list.ru

Abstract

Introduction. The article deals with the problems of increasing the efficiency of precast concrete production technology in order to solve the issue of ensuring the required indicators of construction and technical properties of products at existing enterprises of the construction industry with no additional investment costs for their reconstruction and technical re-equipment. The aim of the work of increasing the efficiency of the production of precast reinforced concrete products is to optimize the parameters of the processes of preparing the concrete mixture as well as heat and humidity treatment of manufactured products by means of developing a two-stage method of preparing the concrete mixture and introducing a step-by-step mode into heat and humidity treatment.

Materials and Methods. The article provides a brief description of the substantive aspects of optimizing the parameters of technological operations for the preparation of concrete mixtures as well as heat and moisture treatment of precast reinforced concrete products using the example of the production of PB-type bar bridges. The manufacturing of precast reinforced concrete products using local aggregates with a high content of dusty clay particles, which determines an increase in cement consumption, is accepted as the basic object of the research.

Research Results. The proposed technology for optimizing the production modes of precast reinforced concrete makes it possible to reduce the consumption of cement and superplasticizer additives at the existing enterprises of the construction industry with no additional material and investment costs for reconstruction and technical re-equipment while using local aggregates with a high content of dusty clay particles.

Discussion and Conclusion. The application of the set of measures being developed improves the conditions for defect-free structuring of concrete and makes it possible to reduce the consumption of the most costly components of the concrete mixture, i.e., cement and the chemical additive superplasticizer. Optimization of the precast concrete production technology ensures the directed structuring of concrete and the achievement of standardized product quality indicators. In each specific case of optimizing technological solutions at each specific enterprise, it is a prerequisite to adjust the prescription and technological solutions put forward in the study. An additional effect of the implementation of the technological techniques developed in the study will be an increase in the indicators of the ecological state of the environment and a reduction in the cost of enriching local aggregates.

Keywords: precast concrete technology, preparation of concrete mix, heat and moisture treatment, optimization, quality improvement

Acknowledgements. The authors appreciate the reviewers, whose critical assessment of the submitted materials and suggestions helped to significantly improve the quality of this article.

For citation. Shlyakhova EA, Egorochkina IO Optimization of Precast Concrete Production Technology. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2025;4(2):49–56. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2025-4-2-49-56>

Введение. Железобетон как сборный, так и монолитный является в настоящее время основным строительным материалом и в обозримой перспективе таковым останется [1, 2]. Актуальность проблемы повышения эффективности технологии производства сборного железобетона на предприятиях стройиндустрии обусловлена тем, что его использование позволяет резко сократить сроки возведения, монтажа строительных объектов и введения их в эксплуатацию. При этом следует отметить одно из обязательных условий изготовления железобетонных конструкций — обеспечение надлежащего качества строительной продукции.

Ускоренный набор прочности в заводских условиях обеспечивается за счет различных видов тепловой обработки изготавливаемых железобетонных изделий и конструкций. Однако ускоренное структурообразование бетона сборных изделий и конструкций в условиях тепловлажностной обработки (ТВО) зачастую приводит к снижению качества продукции и долговечности возводимых зданий и сооружений [3]. Снизить отрицательное воздействие ускоренного твердения бетона за счет тепловлажностной обработки возможно за счет стадийного ступенчатого повышения температуры в пропарочных камерах [4]. Этот прием позволяет сохранить целостность структуры бетона, обеспечить нормируемые показатели качества железобетона. Негативные явления от тепловлажностной обработки особенно усиливаются при использовании местных заполнителей с повышенным содержанием пылеватых и глинистых частиц (ПГЧ) [5–7].

Устранить эти недостатки заполнителей возможно путем их промывки и обогащения [8]. Однако это не только удорожает заполнители, но и требует решения проблемы утилизации промывочных вод и пылевидных отходов, а также выделения дополнительных площадей для хранения промытых заполнителей.

В результате многочисленных исследований разработаны весьма эффективные способы активации заполнителей с использованием специального оборудования [9–11]. Однако их широкое промышленное применение сдерживается необходимостью больших затрат на реконструкцию и техническое перевооружение действующих предприятий стройиндустрии.

Чаще всего недостатки местной сырьевой базы заполнителей компенсируют повышенным расходом цемента, являющимся наиболее дорогостоящим и сравнительно дефицитным компонентом бетонной смеси [12, 13].

Целью настоящих исследований была поставлена разработка методов повышения эффективности технологии сборного железобетона на действующих предприятиях стройиндустрии без их реконструкции и технического перевооружения, а также без перерасхода цемента.

Исследования проводились на действующем предприятии города Ростова-на-Дону ООО «ТД «КСМ 10»» на примере производства железобетонных брусковых перемычек типа ПБ, относящихся к категории сборных изделий массового применения в жилищном, гражданском и промышленном строительстве.

На основе анализа предшествующих работ [12–14] для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- разработка и оптимизация технологических параметров двухстадийного приготовления бетонной смеси;
- разработка ступенчатого режима тепловлажностной обработки изделий;
- оценка эколого-экономической результативности исследований;
- определение перспективной области применения полученных результатов.

Материалы и методы. В качестве базового варианта было принято производство сборных железобетонных перемычек типа ПБ. Для изделий данного вида принят класс бетона по прочности на сжатие В15, что при нормативном коэффициенте вариации 13 % составляет 19,2 МПа. Прочность бетона после тепловлажностной обработки (ТВО) нормируется в зависимости от времени года:

- в холодное время года — $R_{\text{ТВО}}$ не менее 15,4 МПа (80 % от проектного класса прочности);
- в теплое время года — $R_{\text{ТВО}}$ не менее 13,4 МПа (70 % от проектного класса прочности).

Марка бетонной смеси по удобоукладываемости для изготовления перемычек в соответствии с действующей на заводе ООО «ТД «КСМ 10»» технологией принята П2. Это составляет 5–9 см при оценке подвижности по осадке бетонной смеси стандартного конуса (ОК).

Расход материалов на 1 кубометр бетонной смеси для изготовления перемычек приведен в таблице 1.

Таблица 1

Расход материалов

Вид материала	Единица измерения	Количество
Цемент ЦЕМ I 42,5	кг/м ³	260
Песок кварцевый	кг/м ³	750
Щебень фракции 5–20 мм	кг/м ³	1200
Вода	л/м ³	190
Добавка суперпластификатор ST BV2, % (Ц)	%/кг/м ³	2,0/5,6

В качестве вяжущего вещества был взят портландцемент без добавок нормальноотвердеющий ЦЕМ I 42,5Н ЖИ, соответствующий требованиям ГОСТ 55224-2020, произведённый на заводе Евроцемент АО «Мордовцемент».

В качестве мелкого заполнителя был взят карьерный кварцевый песок с модулем крупности $M_{\text{кр}} = 1,1$.

Основные характеристики песка:

- насыпная плотность в сухом состоянии — 1530 кг/м³;
- содержание пылевидных и глинистых частиц — 5,2 %;
- модуль крупности песка — 1,1.

Поставляемый песок в основном отвечает требованиям ГОСТ 8736, по модулю крупности песок относится к группе очень мелкого песка.

Вредные примеси в песке отсутствуют, ПГЧ превышают допустимые ГОСТом пределы (для очень мелких — не более 5 %).

Песок может быть использован для приготовления бетонных смесей в соответствии с положением ГОСТ 26633 в том случае, если подтвердится прямыми испытаниями в бетоне эффективность его применения.

Крупный заполнитель — местный щебень из песчаника — доставляется на предприятие железнодорожным транспортом в виде фракции 5–20 мм. Материалы соответствуют требованиям ГОСТ 26633.

Основные характеристики щебня:

- истинная плотность — 2,67 г/см³;
- насыпная плотность — 1,46 т/м³;
- пустотность — 45,3 %;
- водопоглощение — 1,2 %.

Содержание пылевидных и глинистых частиц — 0,40 %; зёрен слабых пород — 0,3 %; зёрен пластинчатой и игольчатой формы — 10,73 %; глины в комках — отсутствует. Содержание аморфных разновидностей SiO₂ — 17,6 ммоль/л; содержание сульфидов и сульфатов в пересчёте на SO₃ — 0,07 %; содержание галоидных соединений в пересчёте на ион хлора Cl⁻ — 0,02 %. Марка щебня по прочности (по дробимости в цилиндре) 1000 позволяет готовить бетоны класса B10; B15; B20; B22,5; B27,5. Марка щебня по морозостойкости — F200, истираемость — И-1. Содержание в заполнителе естественных радионуклидов Аэфф составляет 115 ± 15 Бк/кг.

Для изготовления бетонных смесей на действующем предприятии ООО «ТД «КСМ 10» используется комплексная химическая добавка — суперпластификатор ST BV2 с эффектом ускорения твердения. Поставщик добавки — ООО «Бетонные строительные решения», г. Санкт Петербург. В соответствии с рекомендациями изготовителя добавки основная область ее применения — для железобетонных и бетонных конструкций, твердеющих в условиях тепловой обработки. Добавка не снижает защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре. Добавка доставляется автотранспортом в виде жидкости от прозрачно-желтого до светло-коричневого цвета 30 %-ой концентрации. Суперпластификатор ST BV2 вводится в бетонные и растворные смеси в виде рабочего раствора в количестве 0,1–1,2 % массы цемента в пересчете на сухое вещество.

Вода (чистая водопроводная) подаётся на предприятие от городской водопроводной сети. Вода, используемая для затворения бетонных и растворных смесей, не содержит вредных примесей, препятствующих нормальному схватыванию и твердению цемента, и соответствует требованиям ГОСТ 23732.

Для получения данных, сопоставимых с литературными, а также с базовыми производственными, в исследованиях применяли стандартные методы испытаний материалов и бетонных образцов.

Технологии совершенствования способов приготовления бетонных смесей, в том числе на низкокачественных заполнителях, достаточно хорошо освещаются отечественными и зарубежными исследователями [14–16]. Основной причиной того, что результаты этих исследований не нашли широкого распространения, была необходимость дополнительных затрат на техническое перевооружение действующих предприятий стройиндустрии.

Кроме того, предложенные способы зачастую характеризуются увеличением продолжительности гомогенизации смеси и снижением производительности бетоносмесителей и бетоносмесительных цехов.

В свое время при непосредственном участии Е.А. Шляховой был разработан двухстадийный способ приготовления бетонных смесей, лишенный указанных недостатков. Сущность этого способа заключается в предварительной обработке заполнителей с повышенным содержанием загрязняющих пылевато-глинистых частиц в бетоносмесителе частью воды затворения с добавкой поверхностно-активного отхода производства пентаэритрита Рубежанского химкомбината. В связи с необходимостью решения проблемы импортозамещения одной из задач данных исследований было изучение возможности замены отходов пентаэритрита доступными добавками ПАВ, в первую очередь, используемым на базовом производстве суперпластификатором ST BV2.

Для получения сравнительных данных исследуемые бетонные смеси готовили традиционным одностадийным способом перемешивания и разрабатываемым двухстадийным. Отформованные сравниваемые образцы-балочки размерами 40×40×160 мм после двухчасовой предварительной выдержки подвергали тепловлажностной обработке с температурой изотермической выдержки 80 °С по базовому, принятому на производстве, режиму.

Для образцов с оптимальными постадийными расходами исследуемых компонентов бетонной смеси был разработан ступенчатый график тепловлажностной обработки, предусматривающий промежуточный период выдержки бетона. Двухступенчатый график тепловлажностной обработки состоял из нескольких этапов, длительность которых приведена в таблице 2.

Таблица 2

Основные параметры тепловлажностной обработки

Параметры	Обозначение	Величина
Длительность предварительной выдержки (при $t = 20-25\text{ }^{\circ}\text{C}$), ч	$\tau_{\text{в}}$	2
Температура изотермического прогрева, $^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{из}}$	80
Скорость подъема температуры, $^{\circ}\text{C}/\text{ч}$	ν	15–20
Длительность периода подъема температуры (1 ступень ТВО), ч	$\tau_{\text{п}}^1$	1
Температура изотермического обогрева (1 ступень ТВО), $^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{из}}^1$	40
Длительность изотермического обогрева (1 ступень ТВО), ч	$\tau_{\text{из}}^1$	1
Длительность периода подъема температуры (2 ступень ТВО), ч	$\tau_{\text{п}}^2$	2
Температура изотермического обогрева (2 ступень ТВО), $^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{из}}^2$	80
Длительность изотермического обогрева (2 ступень ТВО), ч	$\tau_{\text{из}}^2$	4
Длительность остывания после ТВО, ч	$\tau_{\text{ост}}$	2
Температура бетона после остывания, $^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{ост}}$	40

Результаты исследования. Экспериментально проверена эффективность предлагаемого двухстадийного способа приготовления бетонных смесей. В качестве контрольного (базового) принят традиционный одностадийный способ. Результаты исследований приведены в табличной форме (таблица 3).

Таблица 3

Результаты сравнительной оценки способов приготовления бетонных смесей для бетона перемычек

Способ приготовления бетонной смеси	Расход материалов, $\text{кг}/\text{м}^3$				Дозировка добавки, % Ц $\text{кг}/\text{м}^3$	Режим ТВО	Прочность при сжатии, МПа	
	Ц	П	Щ	В			после ТВО	через 28 суток
Базовый	<u>260</u> 100	<u>750</u> 100	<u>1200</u> 100	<u>190</u> 100	<u>0,8</u> 2,0	базовый	<u>13,6</u> 71	<u>19,6</u> 102
Двухстадийный: I стадия	0	<u>750</u> 100	<u>1200</u> 100	<u>75</u> 40	<u>0,2</u> 0,5	базовый	<u>15,2</u> 78	<u>22,8</u> 116
II стадия	<u>260</u> 100	0	0	<u>115</u> 60	<u>0,6</u> 1,5			
Двухстадийный: I стадия	0	<u>750</u> 100	<u>1200</u> 100	<u>70</u> 40	<u>0,2</u> 0,4	ступенчатый	<u>14,3</u> 73	<u>20,1</u> 105
II стадия	<u>220</u> 85	0	0	<u>110</u> 60	<u>0,6</u> 1,3			

Как видно из данных, приведенных в таблице 3, применение двухстадийного способа приготовления бетонной смеси по сравнению с базовым повысило прочность бетона после ТВО на 7 % (с 13,6 до 15,2 МПа) и на 14 % — в возрасте 28 суток (с 19,6 до 22,8 МПа). Это дало основание для снижения расхода цемента на 15 % (с 260 до 220 $\text{кг}/\text{м}^3$) и суммарного расхода добавки суперпластификатора с 2,0 до 1,7 $\text{кг}/\text{м}^3$ без потери прочности по сравнению с базовым вариантом как после ТВО, так и в возрасте 28 суток.

Обсуждение и заключение. Суть разработанного двухстадийного способа приготовления бетонной смеси для базовых изделий заключается в том, что на первой стадии приготовления бетонной смеси в бетоносмесителе перемешивают заполнители с частью воды затворения и добавки ST BV2. На второй стадии к этой смеси добавляют цемент, остальную часть воды затворения и добавки суперпластификатора, после чего осуществляют окончательное перемешивание всех компонентов до получения однородной бетонной смеси требуемой удобоукладываемости.

В результате экспериментальных исследований с варьированием в достаточно широких пределах расходов воды затворения и добавки суперпластификатора на каждой стадии приготовления бетонной смеси были установлены оптимальные значения указанных факторов: на первой стадии вводится 40 % от общего расхода воды затворения и 0,2 % добавки ST BV2 (в расчете на безводное вещество) от массы цемента; на второй стадии приготовления бетонной смеси вводили остальные части воды затворения и добавки.

Изготовление изделий осуществлялось по агрегатно-поточной технологии производства с использованием стандартного технологического оборудования. Доставка бетонной смеси осуществлялась с помощью заводского миксера объемом 5 м^3 . Высота выгрузки бетонной смеси не превышала 100 см во избежание ее расслоения и ухудшения технологических свойств.

Для тепловлажностной обработки изделий использовалась ямная пропарочная камера с подачей в качестве теплоносителя нагретого пара от выносной котельной. Полный цикл процессов твердения состоит из ступенчатого подъема температуры с периодами начальной и промежуточной выдержки бетонной смеси с последующим периодом изотермической выдержки изделий при максимальной температуре 80 °С. Такой прием позволяет нивелировать неравномерность температурного поля по сечению изделия, тем самым стабилизировать кинетику химических реакций и значительно снизить деструктивные процессы в структуре материала. Тепловлажностная обработка ведется до достижения 70 % проектной прочности бетона.

В общем виде технологическая блок-схема двухстадийного способа приготовления бетонной смеси для базовых изделий представлена на рис. 1.

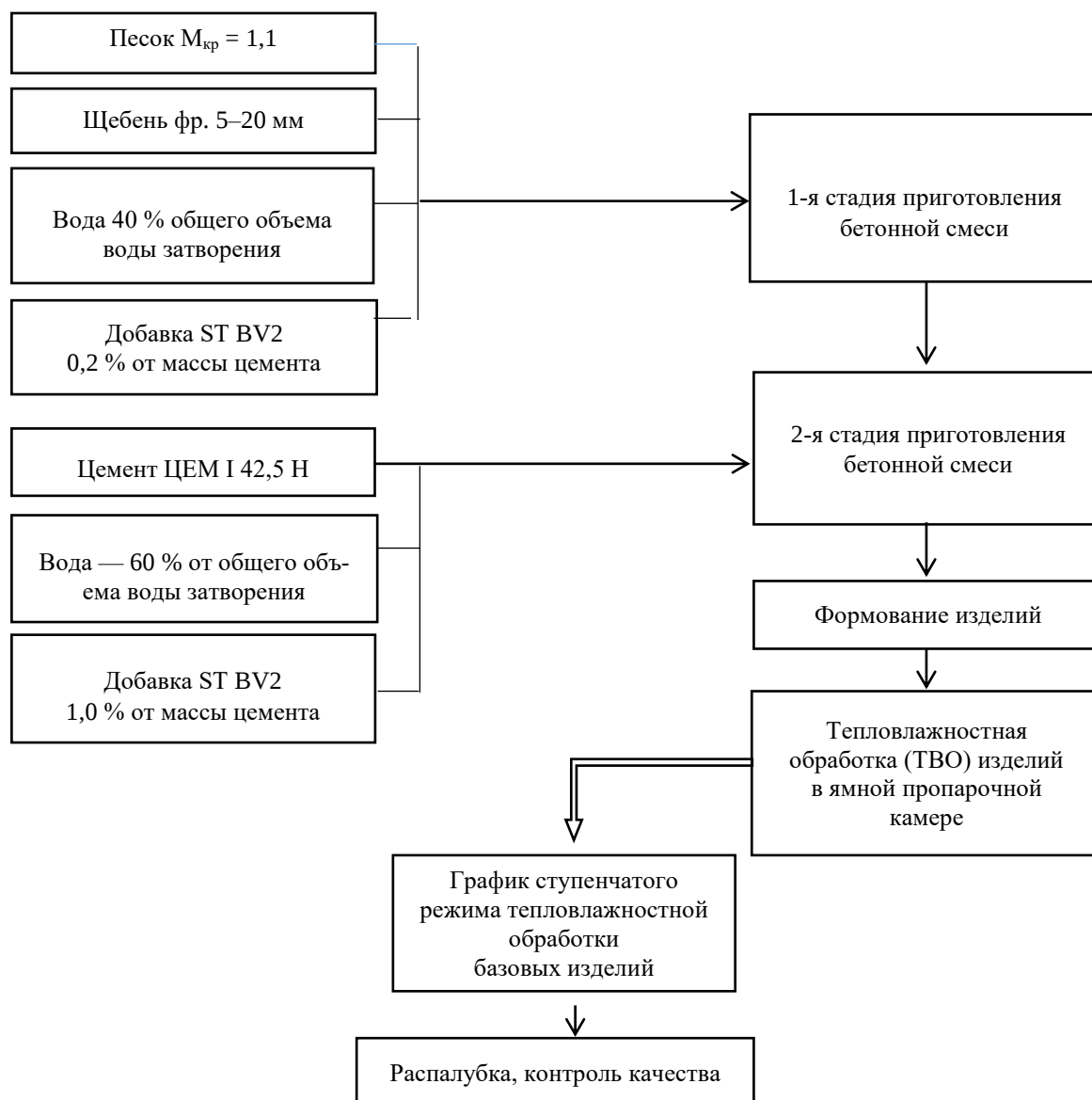


Рис. 1. Блок-схема двухстадийного способа приготовления бетонной смеси для железобетонных изделий заводского изготовления

Разработанные в соответствии с поставленной целью исследований способы повышения эффективности технологии сборного железобетона на примере производства перемычек для перекрытия оконных и дверных проемов жилых, гражданских и промышленных зданий позволяют на действующих предприятиях стройиндустрии без дополнительных затрат на реконструкцию и техническое перевооружение снизить на 15 % расход цемента и на 0,3 кг/м³ уменьшить расход суперпластификатора без ухудшения качества продукции.

Предложенные способы повышения эффективности технологии производства беспрепятственно распространяются на большинство сборных железобетонных изделий и конструкций. При этом в каждом конкретном случае требуется корректировка рецептурно-технологических решений с учетом требований к продукции, местной сы-

рьевой базы и специфики действующего предприятия. Такая корректировка может выполняться силами и средствами заводской лаборатории.

Помимо экономического эффекта непосредственно на предприятии стройиндустрии предложенные методы будут способствовать улучшению экологического состояния окружающей среды и снижению затрат на обогащение местных заполнителей и утилизацию образующихся при этом отходов.

Список литературы/References

1. Фотин О.В. Строительство из сборного железобетона. *Строительные материалы*. 2023;4:32–34. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-812-4-32-34>
Fotin OV Construction of Precast Reinforced Concrete. *Building Materials*. 2023;4:32–34, (In Russ.) <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-812-4-32-34>
2. Давидюк А.Н. Бетон в строительстве — новые вызовы и перспективы. *Вестник НИЦ Строительство*. 2017;1(12):5–13. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=YINMWP&ysclid=m830uuh8d0610542454> (дата обращения 14.04.2025).
Davidyuk AN Concrete in Construction - New Challenges and Prospects. *Bulletin of NIC Construction*. 2017;1(12):5–13. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=YINMWP&ysclid=m830uuh8d0610542454> (accessed: 14.04.2025).
3. Елишев К.С. Формирование структуры тяжёлого бетона для производства стеновых панелей. *The Scientific Heritage*. 2021;78-1(78):13–15. <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-78-1-13-15>
Yelishev KS Formation of the Structure of Heavy Concrete for the Production of Wall Panels. *The Scientific Heritage*. 2021;78-1(78):13–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-78-1-13-15>
4. Зеленковская Ж.Л., Ковшар С.Н. Назначение и обоснование традиционных режимов тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий. *Наука и техника*. 2023;22(2):150–157. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-2-150-157>
Zelenkovskaya ZhL, Kovshar SN Purpose and Justification of Traditional Modes of Heat Treatment of Concrete and Reinforced Concrete Products. *Science & Technique*. 2023;22(2):150–157. (In Russ.) <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-2-150-157>
5. Serebryanaya I, Egorochkina I, Shlyakhova E, Matrosov A Investigation of the Contact Zone Between Cement Stone and Various Types of Aggregates in Concrete. *Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles*. 2022;509:1615–1622. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11058-0_164
6. Bazhenov YuM, Murtazaev S-AYu, Bataev DK-S High-strength concretes based on anthropogenic raw materials for earthquake resistant high-rise construction. *Engineering Solid Mechanics*. 2021;9(3):335–346. <https://doi.org/10.5267/j.esm.2021.1.004>
7. Джабаров А.С., Белов В.В. Отсев как альтернатива применяемым заполнителям для бетона. *Строительные материалы*. 2024;5:28–33. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2024-824-5-28-33>
Dzhabarov AS, Belov VV Screening as an Alternative to the Used Aggregates for Concrete. *Building Materials*. 2024;5:28–33. (In Russ.) <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2024-824-5-28-33>
8. Курбатов В.Л., Печеный Б.Г., Киреев В.Г., Комарова Н.Д. Влияние загрязняющих примесей в заполнителях на свойства бетонных смесей и бетонов. *Современные наукоемкие технологии*. 2017;9:34–41. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=36797> (дата обращения 14.04.2025).
Kurbatov VL, Pecheny BG, Kireev VG, Komarova ND Influence of Pollutants in Aggregates on the Properties of Concrete Mixtures and Concretes. *Modern Science-Intensive Technologies*. 2017;9:34–41. (In Russ.) URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=36797> (accessed: 14.04.2025).
9. Fediuk R, Mochalov A, Timokhin R Review of methods for activation of binder and concrete mixes. *AIMS Mater. Sci*. 2018;5(5):916–931. <https://doi.org/10.3934/mat.2018.5.916>
10. Лотов В.А., Сударев Е.А., Кутугин В.А. Предварительная активация цементно-песчаной смеси с целью повышения прочности бетона. *Химия и химическая технология*. 2022;65(8):94–101. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20226508.6595>
Lotov VA, Sukharev EA, Kutugin VA Preliminary Activation of a Cement-Sand Mixture in Order to Increase the Strength of Concrete. *Izv. vuzov. Chemistry and Chemical Technology*. 2022;65(8):94–101. (In Russ.) <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20226508.6595>
11. Ibragimov R, Fediuk R. Improving the early strength of concrete: Effect of mechanochemical activation of the cementitious suspension and using of various superplasticizers. *Construct. Build. Mater*. 2019;226:839–848. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.313>
12. Velichko E, Polkovnikov N, Sadchikova Yu. Efficient concrete increased water resistance modified with mineral and polymeric additives. *E3S Web of Conferences*. 2019;97:02017. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199702017>
13. Несветаев Г.В., Лопатина Ю.Ю. Проектирование макроструктуры самоуплотняющейся бетонной смеси и её растворной составляющей. *Науковедение*. 2015;7(5). <http://dx.doi.org/10.15862/48TVN515>

Nesvetaev GV, Lopatina YuYu Design of Macrostructure of Self-Compacting Concrete and its Mortar Component. *Internet Magazine "Naukovedenie"* 2015;7(5). (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.15862/48TVN515>

14. Шляхова Е.А. *Способ приготовления бетонной смеси*. Патент на изобретение № RU2714895C1. 2020.

Shlyahova EA *Method of Preparing Concrete Mixture*. Patent RU 2714895 C1 (2020) (In Russ.)

15. Саканов Д.К., Чистова Т.А. Эффективные заполнители для верхнего слоя бетонных покрытий. *Проблемы современного бетона и железобетона*. 2016;8:213–224. <https://doi.org/10.23746/2016-8-12>

Sakanov DK Effective Massive Aggregates for Top Layer of Concrete Pavement. *Problems of Modern Concrete and Reinforced Concrete*. 2016;8:213–224. <https://doi.org/10.23746/2016-8-12>

16. Кадырова Д.Ш., Сайдуллаев А.Б. Прочностные и деформативные свойства бетонов на основе местного сырья и отходов промышленности. *Современное промышленное и гражданское строительство*. 2021;17(2):93–101. URL: https://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2021-2/03_kadyrova_saydullaev.pdf (дата обращения 14.04.2025).

Kadyrova DSh Strength and Deformative Properties of Concrete Based on Local Raw Materials and Industrial Waste. *Modern Industrial and Civil Construction*. (In Russ.) 2021;17(2):93–101. URL: https://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2021-2/03_kadyrova_saydullaev.pdf (accessed: 14.04.2025).

Об авторах:

Елена Альбертовна Шляхова, кандидат технических наук, доцент кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162), [ScopusID](#), [ORCID](#), shlyahovae@list.ru

Инна Олеговна Егорочкина, кандидат технических наук, доцент кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162), [ScopusID](#), [ORCID](#), arin77@bk.ru

Заявленный вклад авторов:

Е.А. Шляхова: формирование основной концепции, цели и задачи исследования, подготовка текста, формирование выводов.

И.О. Егорочкина: анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов, формирование списка литературы.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Elena A. Shlyakhova, Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Technological Engineering and Expertise in the Construction Industry at the Don State Technical University (162 Sotsialisticheskaya str., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ScopusID](#), [ORCID](#), shlyahovae@list.ru

Inna O. Egorochkina, Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Technological Engineering and Expertise in the Construction Industry at the Don State Technical University (162 Sotsialisticheskaya str., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ScopusID](#), [ORCID](#), arin77@bk.ru

Claimed contributorship:

EA Shlyakhova: development of the idea, aims and objectives of the study, calculations, analysis and drawing conclusions, manuscript preparation, revision of the manuscript.

IO Egorochkina: analysis of the research results, revision of the manuscript, correction of the conclusions, formation of the list of references.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final version of manuscript.

Поступила в редакцию / Received 20.04.2025

Поступила после рецензирования / Reviewed 14.05.2025

Принята к публикации / Accepted 30.05.2025