

УДК 691.32

М.И. БРУССЕР, канд. техн. наук., вед. научный сотрудник Лаборатории № 14,

С.А. ПОДМАЗОВА, канд. техн. наук., вед. научный сотрудник Лаборатории № 4

НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО НИЦ «Строительство» (109428, Москва, ул. 2-я Институтская, 6)

Проектирование составов тяжелого и мелкозернистого бетона. Пути развития

Рассмотрены рекомендации по проектированию составов тяжелого и мелкозернистого бетона, как обычного, так и высокопрочного. Впервые рассматриваются подходы к подборам самоуплотняющегося бетона, а также напрягающего высокопрочного тяжелого и высокопрочного мелкозернистого бетонов. Дана историческая справка по «Руководству по подборам составов тяжелого бетона» (1979 г.) и «Рекомендациям по подбору тяжелых и мелкозернистых бетонов (к ГОСТ 27006–86)» (1990 г.). Непосредственно в первой редакции Рекомендаций изменены подходы при разработке составов бетона по обеспечению заданной удобоукладываемости. Также представлена методика разработки производственных норм, т. е. на примерах и в тексте даны наименее трудоемкие способы разработки составов бетона, как нормального твердения для монолитных конструкций, так и бетона для сборных железобетонных изделий.

Ключевые слова: бетон, подбор состава, рекомендации, водонепроницаемость, морозостойкость.

Для цитирования: Бруссер М.И., Подмазова С.А. Проектирование составов тяжелого и мелкозернистого бетона. Пути развития // Бетон и железобетон. 2021. № 2 (604). С. 3–7.

M.I. BRUSSER, Candidate of Sciences (Engineering), Leading Researcher, Laboratory No. 14,

S.A. PODMAZOVA, Candidate of Sciences (Engineering), Leading Researcher, Laboratory No. 4

Research, design and technological institute of concrete and reinforced concrete – NIIZhB named after A.A. Gvozdev, Scientific Research Center “Construction” (6, 2nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

Design of Heavy and Fine-Grained Concrete Compositions. Ways of Development

Recommendations for the design of compositions of heavy and fine-grained concrete, both conventional and high-strength, are considered. For the first time, approaches to the selection of self-compacting concrete, as well as straining high-strength heavy and high-strength fine-grained concrete are considered. Historical information is given on the “Guide to the selection of heavy concrete compositions” (1979) and “Recommendations for the selection of heavy and fine-grained concrete (to GOST 27006–86)” (1990). Directly in the 1st edition of the Recommendations, the approaches to the development of concrete compositions to ensure a given workability have been changed. The methodology for the development of production standards is also presented, i.e. the least labor-intensive methods for the development of concrete compositions, both normal hardening for monolithic structures and concrete for precast concrete products, are given in the examples and in the text.

Keywords: concrete, composition selection, recommendations, watertightness, frost resistance.

For citation: Brusser M.I., Podmazova S.A. Design of heavy and fine-grained concrete compositions. Ways of development. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2021. No. 2 (604), pp. 3–7. (In Russian).

«Рекомендации по подбору составов бетонных смесей для тяжелых и мелкозернистых бетонов», разработанные в 2016 г. (далее – Рекомендации), необходимы для подбора составов, обеспечивающих проектные требования к бетону в части прочности, водонепроницаемости, морозостойкости и др.

В 1990 г. были выпущены «Рекомендации по подбору составов тяжелых и мелкозернистых бетонов (к ГОСТ 27006–86)» [1] (далее – Рекомендации 1990 г.), которые разрабатывались сотрудниками НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, ВНИИЖелезобетон и Оргэнергострой. В этот период времени строительная индустрия в основном производила сборный железобетон, поэтому в Рекомендациях большое внимание уделялось системе разработки составов бетона для сборного железобетона; для готовых бетонных смесей (товарных бетонов) отдельных классов даже допускалось назначать составы по таблице и применять составляющие бетона среднего качества, но с экспе-

риментальной проверкой и корректировкой подвижности бетонной смеси. Также в этот период времени практически отсутствовало применение химических добавок. При этом в Рекомендациях 1990 г. был раздел «Подбор состава бетона с пластифицирующими и комплексными добавками», где сначала рассчитывался состав бетона без добавок, а следующим шагом в методах подборов для обеспечения заданной подвижности предлагалась методика расчета оптимального количества добавки. Цель введения добавок – улучшение свойств бетонной смеси и бетона, а также утилизация отходов промышленности.

В задании на подбор состава бетона указано в том числе, что показатели однородности по прочности, полученные на данном производстве, следует использовать для назначения уровня требуемой прочности.

В разделе «Требования к материалам» перечислены рекомендуемые и допускаемые марки цемента

при твердении в различных условиях и перечислены группы цементов по эффективности при пропаривании, которые следует применять при производстве сборного железобетона. В случае возведения монолитных конструкций при отрицательной температуре вид и класс (марку) цемента, при изготовлении готовых бетонных смесей, следует назначать в соответствии с указаниями в Приложении А (Справочное) ГОСТ 10178–85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия».

Для мелкого заполнителя предлагается широкий спектр крупности песка с модулем крупности от 1 до 3,5, с различными решениями по укрупнению или снижению крупности мелкого заполнителя.

В «Руководстве по подбору составов тяжелого бетона» [2], которое вышло в 1979 г., в разделе «Исходные данные для расчета и подбора состава бетона» были разработаны требования к прочности бетона в виде таблиц для назначения водоцементного отношения при определенных требованиях по водонепроницаемости и морозостойкости, которые, в свою очередь, назначались в зависимости от вида и уровня среды эксплуатации.

В дальнейшем в Рекомендациях 1990 г. этот подход не применялся. В разделе «Общие положения» написано, что если при подборе составов кроме прочности предъявляются дополнительные требования (морозостойкость, водонепроницаемость, коррозионная стойкость и т. д.), то следует учитывать известные зависимости, связывающие качество материалов для бетона и технологию его приготовления со свойствами бетонов, которые необходимо обеспечить. В этих случаях состав бетона, отвечающий требованиям задания по прочности, проверяют на соответствие другим нормируемым показателям качества. Если это условие не выполняется, то производят новый подбор состава бетона с применением различных технологических приемов, обеспечивающих получение бетона со всеми нормируемыми показателями качества, как правило, без увеличения расхода цемента.

Таким образом, следует отметить, что в случае требований по водонепроницаемости и морозостойкости отсутствуют конкретные методы при разработке составов, а Рекомендации 1990 г. предлагают разрабатывать состав бетона, который обеспечивает только заданную прочность, и то с учетом однородности прочности, полученной на данном предприятии, а не средней прочности класса, равной прочности бетона при $V=13,5\%$

При подготовке актуальной редакции Рекомендаций на основании анализа Руководства 1979 г. и Рекомендаций 1990 г., а также анализа производства изделий из сборного железобетона и бетона для монолитного строительства были разработаны новые подходы и методики для проектирования составов бетона классов по прочности от В15 до В55 для обычного мелкозернистого и тяжелого бетона с

обеспечением марок по водонепроницаемости W2–W14, морозостойкости F₁₇₅–F₁₀₀₀ и широким диапазоном удобоукладываемости.

В общих положениях разработанных Рекомендаций показано, в каких случаях проектируют новые составы бетона, в том числе для разработки производственных норм, т. е. серии составов различных классов, которые планируется выпускать на производстве готовых бетонных смесей для монолитного строительства. Для сборного железобетона проектирование состава (или составов) бетона производится для каждой конкретной технологии, с учетом требуемой удобоукладываемости, режимов твердения и обеспечения распалубочной, отпускной или передаточной прочности.

В задании на подбор состава бетона более широко представлен набор требований к бетону изделий и конструкций, требуемые технологические показатели качества бетонной смеси, а также технологические условия производства.

В разделе «Требования к материалам для приготовления бетона» следует отметить разработанную таблицу по рекомендуемым маркам (классам) цементов, которые следует применять для бетона при твердении в нормальных условиях или при тепловой обработке, в зависимости от проектного класса бетона по прочности. Классы цемента представлены вследствие того, что в ГОСТ–31108 «Цементы общестроительные. Технические условия» все цементы перешли в новое обозначение класса, например ЦЕМ I, ЦЕМ II, ЦЕМ III, при этом диапазон колебаний активности цемента в каждом классе по стандарту возможен в пределах 20 МПа в отличие от марок цемента. Снижение активности (прочности) по отношению к показателю как марки, так и класса цемента, должно быть не более 2,5 МПа (это нижний малозначительный дефект). Если снижение прочности выше 2,5 МПа, то данная партия приемке не подлежит (ГОСТ 30515–2013 «Цементы. Общие технические условия»).

В разделе «Добавки» отсутствуют подразделы на минеральные и химические добавки, но присутствует условное разделение добавок на три вида:

- химические добавки;
- минеральные добавки;
- органоминеральные модификаторы.

Вид добавки следует назначать в зависимости от технологических условий производства бетона изделий и конструкций для обеспечения требуемых технологических параметров бетонной смеси и проектных требований к бетону. В первую очередь в разделе «Расчет и проектирование (подбор) составов бетона» разработана методика подбора обычного тяжелого бетона для монолитных конструкций и сооружений, т. е. составы бетона нормального твердения с применением химических добавок.

Процесс подбора состава бетона состоит из следующих этапов:

- этап 1 – теоретический расчет состава бетонной смеси;
- этап 2 – экспериментальный подбор и корректирование нормируемых технологических показателей качества бетонной смеси;
- этап 3 – экспериментальная проверка соответствия начального номинального состава бетона требуемой средней прочности класса при $V=13,5\%$;
- этап 4 – проверка и корректирование начального номинального состава бетона на его соответствие всем другим нормируемым показателям качества бетона;
- этап 5 – назначение и корректирование рабочих составов бетона;
- этап 6 – проверка и корректирование технологических показателей качества бетонной смеси рабочих составов на производстве.

Для определения цементно-водного отношения можно воспользоваться либо формулой, либо графиком. В случае расчета Ц/В отношения по формуле следует обратить внимание на то, что за активность цемента принимается показатель класса цемента, а прочность бетона равна требуемой прочности бетона нормального твердения при коэффициенте вариации 13,5% в возрасте 28 сут.

Следующее корректирование текста состоит в том, что обозначенные в таблице водоредуцирующие добавки имеют разную степень эффективности, которые следует применять при определенной требуемой удобоукладываемости. Также увеличена доля песка в смеси заполнителей, так как исследования, которые проводились для разработки стандартной методики по испытанию добавок в бетоне, показали, что для повышения эффективности действия химических добавок в бетоне следует повысить долю песка в смеси заполнителя по отношению к тем дозировкам, которые были в Рекомендациях 1990 г.

В этом же разделе приведен пример расчета начального номинального и двух дополнительных составов бетона с водоредуцирующей/пластифицирующей добавкой.

После прямых подборов и получения данных по прочности номинального и дополнительных составов бетона необходимо построить базовые зависимости

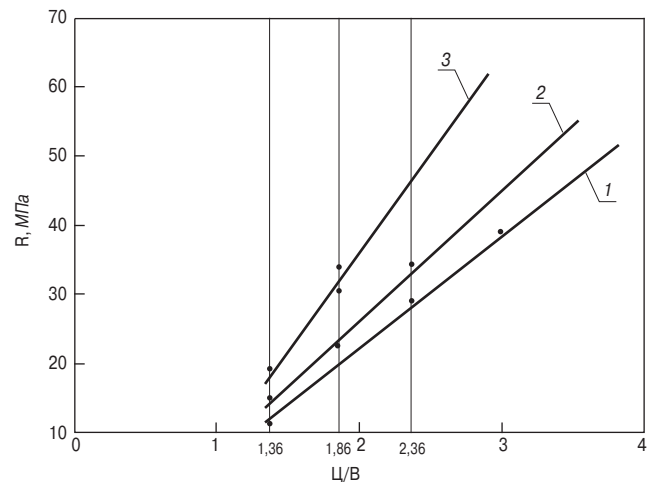


Рис. 1. Зависимости прочности бетона в разных возрастах твердения от цементно-водного отношения: 1 – в возрасте 3 сут; 2 – в возрасте 7 сут; 3 – в возрасте 28 сут

Fig. 1. Dependences of concrete strength at different curing ages on the cement-water ratio: 1 – at the age of 3 days; 2 – at the age of 7 days; 3 – at the age of 28 days

«прочность – Ц/В (или В/Ц) отношение» для возрастов 3, 7 и 28 сут (рис. 1).

По зависимостям в полученном диапазоне Ц/В отношения рассчитывают составы бетона по средней прочности класса при $V=13,5\%$, в диапазоне от класса В20 (26 МПа) до В40 (52,4 МПа).

Это важное нововведение, которое показывает, что для разработки производственных норм расхода составляющих достаточно рассчитать и откорректировать три состава с подвижностью, например, П4 (ОК 16–20 см), чтобы на основании полученных данных рассчитать производственные нормы расхода материалов для бетона классов по прочности в интервале В20–В40 (табл. 1).

В разделе «Экспериментальная проверка соответствия начального номинального состава бетона требуемой прочности» показано, как назначать среднюю прочность бетона, в том числе если в техническом задании указаны требования по морозостойкости и водонепроницаемости. В этом случае рассчитывают состав бетона, ориентируясь на приложение А (табл. 2 и 3).

Вид цемента назначается в зависимости от требуемой марки по морозостойкости. При марке по

Таблица 1
Table 1

Производственные нормы расхода материалов для бетона классов по прочности
Production rates of material consumption for concrete of strength classes

Класс бетона (прочность при $V_n=13,5\%$)	Ц/В	Ц, кг/м ³	П, кг/м ³	Щ, кг/м ³	В, кг/м ³	Добавка, кг/м ³	
						Суперводоредуцирующая	Воздухововлекающая
В20 (26 МПа)	1,56	286	932	979	184	1,72	1,5
В22,5 (30 МПа)	1,71	314	909	979	184	1,88	1,5
В25 (32,7 МПа)	1,83	336	890	979	184	2,01	1,5
В27,5 (36 МПа)	1,95	358	871	979	184	2,15	1,5
В30 (40 МПа)	2,10	385	847	979	184	2,31	1,5
В35 (45,8 МПа)	2,33	428	811	979	184	2,57	1,5
В37,5 (49,3 МПа)	2,45	450	793	979	184	2,7	1,5
В40 (52,4 МПа)	2,57	472	774	979	184	2,83	1,5

Таблица 2
Table 2

Ориентировочные технологические параметры, обеспечивающие водонепроницаемость бетона
Approximate technological parameters ensuring the water tightness of concrete

Диапазон технологических показателей	Марка по водонепроницаемости W		
	4–6	8–10	12–14
Средняя прочность бетона, МПа	30–35	40–45	50–60
Цементно-водное отношение, Ц/В	1,67–1,82	2,22–2,5	2,63–2,86
Водо-цементное отношение, В/Ц	0,6–0,55	0,45–0,4	0,38–0,35

Примечания:

Ориентировочные технологические параметры определены при применении цемента ЦЕМ I 42,5Н и крупного заполнителя фракции 5–20 мм. Марка бетона по водонепроницаемости W4–W14 и вид цемента, соответствующий требованиям ГОСТ 31108–2016 «Цементы общестроительные. Технические условия»; ГОСТ 10178–85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия»; ГОСТ 22266–2013 «Цементы сульфатостойкие. Технические условия»; ГОСТ Р 55224–2012 «Цементы для транспортного строительства. Технические условия» назначается в зависимости от условий эксплуатации изделий и конструкций по СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии» (Актуализированная редакция СНиП 2.03.11–85).

Таблица 3
Table 3

Ориентировочные технологические параметры, обеспечивающие морозостойкость бетона
Approximate technological parameters providing frost resistance of concrete

Технологические показатели	Марка по морозостойкости			
	F _{1,75–100} *	F _{2,200–300} *	F _{1,400–600} *	F _{1,700–1000} *
	–	F _{2,100} **	F _{2,200} **	F _{2,300–500} *
Средняя прочность бетона, МПа	≥ 30	≥ 33	≥ 36	≥ 40
Цементно-водное отношение Ц/В	>1,67	>1,82	>2,0	>2,22
Водоцементное отношение В/Ц	<0,6	<0,55	<0,5	<0,45
Добавки по ГОСТ 24211–2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия»	Воздухововлекающая (газообразующая)			
Воздухововлечение, %	–	3–7		

Примечания:

* Морозостойкость всех видов бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий F₁.

** Морозостойкость бетонов дорожных и аэродромных покрытий F₂.

Морозостойкость более F₁₃₀₀ (F₂₁₀₀) для всех видов бетонов следует обеспечивать с применением воздухововлекающей (газообразующей) добавки.

морозостойкости F_{1,300} (F_{2,100}) и выше следует назначать вид цемента, соответствующий требованиям ГОСТ 10178, ГОСТ 22266, ГОСТ 31108 и ГОСТ Р 55224 с содержанием трехкальциевого алюмината (C₃A) не более 7% и количества минеральных добавок в виде шлака не более 15%.

Расход цемента назначается в зависимости от степени агрессивного воздействия на бетон и принимается не менее 300 кг/м³.

Расход цемента в бетоне конструкций и изделий, обеспечивающий проектные требования по усадке и ползучести, следует назначать не более 490 кг/м³.

В случае, если в задании на подбор состава бетона (бетонов) кроме проектной прочности указана водонепроницаемость и морозостойкость, следует по табл. 2 и 3 определить класс бетона, который обеспечивает не только несущую способность, но и проектную водонепроницаемость и морозостойкость. Например, требование проекта В25 W10 F_{2,300}: для марки по водонепроницаемости W10 следует изготавливать бетон со средней прочностью 45 МПа (В35); для марки по морозостойкости F_{2,300} также необходимо обеспечить прочность более 40 МПа с обязательным применением воздухововлекающей добавки (табл. 3). Таким образом, чтобы обеспечить W10 и F_{2,300}, следует изготавливать состав бетона В35 с введением воздухововлекающей добавки. В табл. 1 приведен состав для класса В35 (средняя

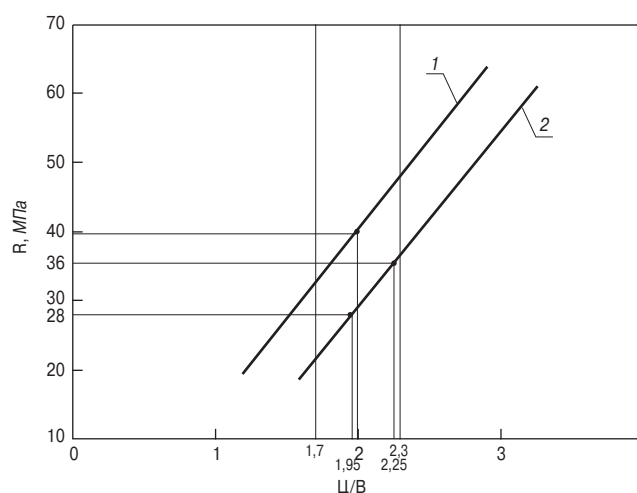


Рис. 2. Зависимость прочности бетона после тепловой обработки от цементно-водного отношения: 1 — через 28 сут после тепловой обработки; 2 — через 4 ч после тепловой обработки

Fig. 2. Dependence of the strength of concrete after heat treatment on the cement-water ratio: 1 — 28 days after heat treatment; 2 — 4 hours after heat treatment

прочность 46 МПа), значит, назначаем состав, который сможет обеспечивать В35 W10 F_{2,300}.

Проектирование и назначение составов бетона для сборного железобетона расширено, и по данным прочности начального номинального состава и двух дополнительных при определенном Ц/В отношении строится зависимость и рассчитываются два состава

Таблица 4
Table 4

**Проектирование и назначение составов бетона для сборного железобетона
Design and assignment of concrete compositions for precast concrete**

Требуемая средняя прочность	Ц/В	Ц, кг/м ³	П, кг/м ³	Щ, кг/м ³	В, кг/м ³	Добавка, кг/м ³	
						Суперводоредуцирующая	Воздуховвлекающая
Отпускная прочность 70% (28 МПа)	2	330	933	1000	165	1,98	1,5
Отпускная прочность 90% (36 МПа)	2,25	370	893	1000	165	2,22	1,5

Примечание. Для 70% отпускной прочности (~28 МПа) достаточно назначать Ц/В=1,95, но для достижения 40 МПа в 28 сут возрасте следует назначать Ц/В отношение, равное 2. Для того чтобы обеспечить и 70% отпускной и 100% 28 сут прочности, следует принять Ц/В=2.

ва (рис. 2, табл. 4), например:

- 1-й состав, где отпускная прочность 70% от средней прочности класса В30;
- 2-й состав, где отпускная прочность 90% от средней прочности класса В30.

Обязательным условием является достижение в 28 сут возрасте при заданных условиях твердения уровня заданной проектной прочности. Все составы разрабатываются с применением химических добавок.

В разделе 10 приведен порядок подбора состава напрягающего бетона нормального твердения, где обращается внимание на самоупрочнение, т. е. необходимость обеспечить не только среднюю прочность класса и заданную марку по водонепроницаемости, но также получить заданное самоупрочнение, которое зависит от расхода расширяющейся добавки (РД).

В разделе «Расчет и подбор состава высокопрочного бетона с минеральными добавками» впервые предлагается к рассмотрению подбор (проектирование) составов мелкозернистого высокопрочного бетона по прочности на сжатие В60 и выше.

Также дается методика подборов составов тяжелого высокопрочного бетона классов по прочности В60 и выше. Подборы состава высокопрочного бетона осуществляются по тем же принципам, что приняты в основу метода подбора обычных тяжелых бетонов, но с учетом особенностей, связанных с обязательным использованием органоминеральных, минеральных и химических добавок.

Также следует отметить подходы к пониманию проектирования состава самоуплотняющегося бетона (раздел 12), где показано, что количество со-

ставляющих компонентов бетона увеличивается и в составе бетона должны присутствовать:

- цемент;
- две фракции песка, например с $M_k=1,8$ и $M_k=2,4$;
- минеральные добавки, соответствующие ГОСТ Р 56592–2015 «Добавки минеральные для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия», включая активные (микрокремнезем, зола-унос, метакаолин, тонкомолотые доменный гранулированный шлак и природные пуццоланы) и инертные – микронаполнители;
- крупный заполнитель фракции 3 (5)–10 мм;
- химические добавки в виде водоредуцирующих/пластифицирующих и стабилизирующих водоудерживающих.

Кроме обеспечения прочности и других проектных требований важная задача подбора состава самоуплотняющегося бетона – создать бетонную смесь, устойчивую к расслоению и водоотделению.

В помощь производителям самоуплотняющегося бетона в Приложении Б Рекомендаций приведен аутентичный перевод Европейского стандарта EN 12350–8 «Испытания бетонной смеси – Часть 8: Самоуплотняющийся бетон – испытание бетонной смеси на расплыв при осадке конуса».

Использование при проектировании составов тяжелого и мелкозернистого бетона «Рекомендаций по подбору составов бетонных смесей для тяжелых и мелкозернистых бетонов» 2016 г. позволяет получать составы, обеспечивающие весь комплекс проектных требований, а значит, и долговечность бетона, изделий и конструкций [3, 4].

Список литературы

1. Рекомендации по подбору составов тяжелых и мелкозернистых бетонов (к ГОСТ 27006–86. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990.
2. Руководство по подбору составов тяжелого бетона. Научно-исследовательский институт бетона и железобетона (НИИЖБ) Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1979 г.
3. Подмазова С.А. Обеспечение технологических переделов – гарантия качества // *Технологии бетонов*. 2014. № 1. С. 27–29.
4. Подмазова С.А., Любарская Г.В. Исследование технологических параметров, влияющих на конечные свойства бетона // *Технологии бетонов*. 2015. № 11–12. С. 48–51.

References

1. Recommendations for the selection of compositions of heavy and fine-grained concrete (to GOST 27006–86. Moscow: TsITP Gosstroy USSR. 1990. (In Russian).
2. Guidelines for the selection of heavy concrete compositions. Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZhB) of the USSR State Construction Committee. Moscow: Stroyizdat, 1979. (In Russian).
3. Podmazova S.A. Provision of technological conversions is a quality guarantee. *Tekhnologii betonov*. 2014. No. 1, pp. 27–29. (In Russian).
4. Podmazova S.A., Lyubarskaya G.V. Investigation of technological parameters affecting the final properties of concrete. *Tekhnologii betonov*. 2015. No. 11–12, pp. 48–51. (In Russian).