

DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-5-24-33

*Сопин Д.М.\**, кандидат технических наук,  
*Клюев С.В.*, кандидат технических наук, доцент,  
*Агеева М.С.*, кандидат технических наук, доцент,  
*Лесовик Р.В.*, доктор технических наук, профессор,  
*Богусевич Г.Г.*, кандидат технических наук,  
*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия*  
\*Ответственный автор E-mail: beton138@mail.ru

## РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНОГО БЕТОНА

**Аннотация:** в статье рассмотрена возможность использования композиционных вяжущих и магнетита в качестве компонентов бетона с радиационно-защитными свойствами. Применение разработанных бетонов возможно не только при необходимости возведения атомных электростанций, но и создания бункеров или противорадиационных убежищ. Особенностью бетонов, которые применяются для защиты и проектирования кранов ядерных реакторов, являются их свойства, которыми они должны располагать. К таким свойствам относят: низкую теплопроводность, повышенную плотность, высокую термостойкость, пониженные значения коэффициента термического расширения, усадка и ползучесть. Изучено техногенное сырье для получения особо тяжелых бетонов, проанализированы основные физико-механические характеристики, требования, которые необходимо учитывать при подборе состава сырьевой смеси для защитного бетона. В работе приведено сравнение физико-механических характеристик, выявлены преимущества и недостатки при введении вяжущего компонента различных типов: цемент, цемент с суперпластификатором и вяжущее низкой водопотребности. Установлено, что применение вяжущего низкой водопотребности способствует повышению физико-механических характеристик при снижении расхода цемента в составе сырьевой смеси по сравнению с традиционным тяжелым бетоном с применением цемента.

**Ключевые слова:** цемент, магнетит, вяжущее низкой водопотребности, суперпластификатор, тяжелые бетоны, радиационно-защитные бетоны

### Введение

Проблема обеспечения радиационной безопасности населения и окружающей среды, является важнейшей задачей, от решения которой зависят масштабы практического использования ядерной энергии в народном хозяйстве. В общем комплексе технических решений защиты от ионизирующих излучений важная роль отводится специальным материалам и конструкциям, способным ослаблять радиацию. Мировой опыт возведения конструкций для объектов ядерной энергетики, хранилищ используемых для хранения радиоактивного сырья и захоронения опасных отходов, строительства сооружений гражданской обороны показывает, что наиболее распространенного использования среди специальных материалов для защиты от радиоактивных излучений получили бетоны. Благодаря возможности использования в составе этих композиционных материалов различных наполнителей, бетоны объединяют и оптимизируют в себе широкий спектр механических, физических и специальных свойств. Наиболее эффективными, с точки зрения радиационной защиты, материалами для изготовления экранирующих конструкций от нейтронного и фотонного излучений являются многослойные метало-насыщенные конструкции. Оптимальной концентрацией металла в таких системах является содержание 65-80 мас. % [1-8].

Строительные бетоны, как конструкционного назначения, так и специальные, можно отнести к одной из разновидностей композиционных материалов. Для таких искусственных строительных материалов одной из характерных особенностей является приобретение ими качественно новых свойств по сравнению с соответствующими характеристиками для каждого отдельно взятого составляющего компонента – так называемый синергетический эффект. Эксплуатационные характеристики полученных новых строительных материалов будут регламентироваться, как количественными и качественными свойствами составляющих компонентов, так и варьированием их рецептурно-технологических параметров. Добиться положительных защитных свойств бетона, возможно за счет увеличения его плотности, этого можно достичь, если материал содержит определенное количество водорода. В бетоне содержание водорода, достигается за счет химически связанной воды [9-14].

Исходными показателями при подборе составов радиационно-стойких бетонов являются плотность бетона, содержание химически связанной воды, а также прочность. Ориентировочные составы таких бетонов приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Ориентировочные составы радиационно-защитных бетонов**

Table 1

**Approximate compositions of radiation-protective concretes**

Вид бетону	Состав, кг/м <sup>3</sup>				Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>
	Цемент	Песок	Щебень	Вода	
Магнетитовый	389	1365	1765	184	3700
Гематитовый	300	1100	2140	195	3735
Баритовый	395	1352	1800	193	3740
С металлическим заполнителем	395	2637	2637	170	5840

К требованиям, предъявляемым к бетонам, используемым при устройстве экранов ядерных реакторов большой мощности, относят высокую термостойкость, пониженная теплопроводность, небольшие значения коэффициента термического расширения усадки и ползучести.

**Методы и материалы**

При проектировании радиационно-защитных бетонов в качестве заполнителя бетона в зависимости от технических характеристик могут использоваться различные горные породы: базальтовые, лимонитовые, серпентинитовые, хромитовые, гематитовые, мегнетитовые или баритовые. В проводимых экспериментах был исследован магнетит (рис. 1).

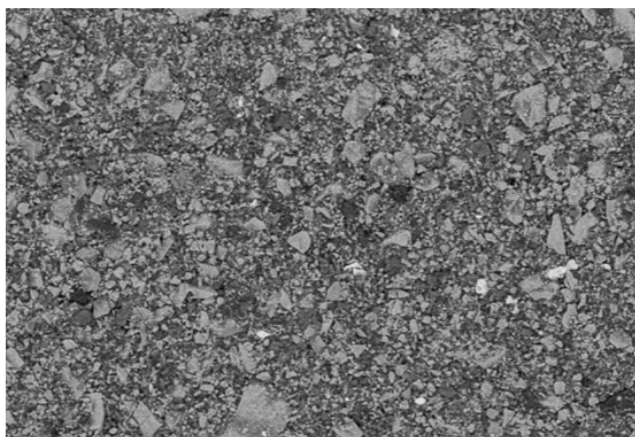


Рис. 1. Микрофотоснимок магнетитового щебня увеличение  $\times 250$   
Fig. 1. Microphotograph of magnetite rubble magnification  $\times 250$

Исследование вещественного состава используемых заполнителей, помимо прочего, также состояло из изучения минерального состава и строения используемых образцов, синтезированных материалов и исходных компонентов, а также валового химического анализа, для чего использовался метод растровой электронной микроскопии.

Исследовали магнетит метаморфогенный, связанный с железистыми кварцитами месторождения Курской магнитной аномалии, который применяли в качестве заполнителя для радиационно-защитного бетона, предварительно изучив его минеральный состав, по результатам которого определили содержание железа порядка 50% (рис. 2).

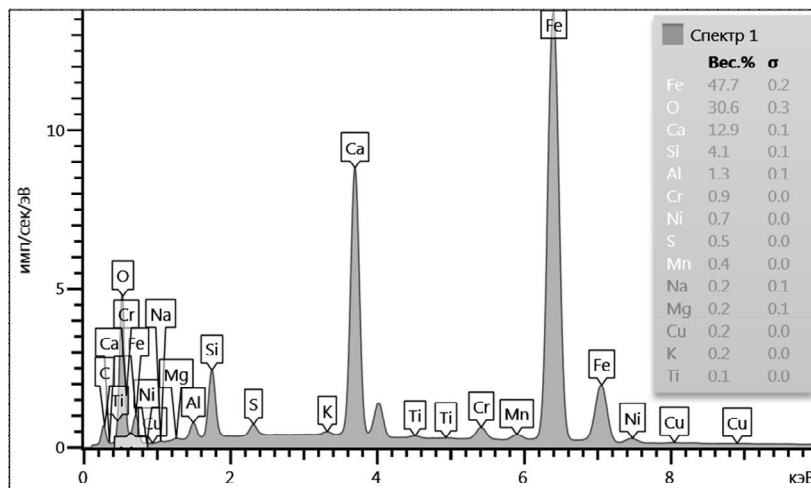


Рис. 2. Минеральный состав магнетита  
Fig. 2. Mineral composition of magnetite

Таблица 2

**Минеральный состав магнетита**

Table 2

**Mineral composition of magnetite**

Название спектра, вес. %	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
Спектр 1	30.64	0.20	0.19	1.33	4.13	0.47	0.17	12.89	0.15	0.88	0.43	47.65	0.72	0.18
Спектр 2	30.43	0.26	0.39	1.17	4.20	0.46	0.14	12.95	0.05	0.87	0.39	47.70	0.85	0.13
Спектр 3	29.97	0.21	0.24	1.20	4.07	0.47	0.17	12.49	0.08	0.90	0.37	48.88	0.88	0.07

Использование заполнителя способствует снижению усадки бетона и увеличению долговечности конечного материала. При твердении цементного камня усадка может достигать значений в 1-2мм/м, в связи с неравномерным распределением усадочных деформаций появляются внутренние напряжения, а также микротрещины.

У магнетитовых бетонов наблюдается стабильная структура, большая плотностью (составляет от 4000...4500 кг/м<sup>3</sup>) и высокая прочность (порядка 50-70 МПа). Магнетитовые бетоны обладают хорошей теплопроводностью стойкостью к воздействию высоких температур.

Основываясь на результатах проведённых ранее исследований, были намечены главные пути по оптимизации технических свойств радиационно-защитного бетона.

С целью получения радиационно-защитных бетонов, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками, многокомпонентные вяжущие вещества на основе портландцемента (тонкомолотый цемент и вяжущие низкой водопотребности), влияние суперпластификаторов на свойства бетонных смесей и бетонов, изучали, применяя широкий спектр методов исследований, регламентируемых нормативно-технической документацией на данный вид продукции.

Микроструктурные исследования и количественный анализ микроструктуры полученных образцов проводили с использованием программно-аппаратного комплекса, который состоит из растрового электронного микроскопа «Хитачи-S-800», обладающего высоким разрешением и имеющего связь с персональным компьютером.

Предел прочности при изгибе и показатели нормальной густоты и сроков схватывания цементного теста определялись по ГОСТ 30744-2001, величина удельной поверхности вяжущих- по методике воздухопроницаемости на приборе ЦНТТМ "Интеграл" ПМЦ – 500.

Изучение водопотребности мелкого заполнителя проводилось при условии равноподвижности бетонной смеси в соответствии с «Руководством по подбору составов для тяжелого бетона» НИИЖБ Госстроя СССР.

Определение марки по морозостойкости бетонов проводили на бетонных образцах-кубах размером 100×100×100 мм по ГОСТ 10060 и характеризовали количеством циклов замораживания и оттаивания, которое выдержали основные образцы по отношению к контрольным.

### Результаты и обсуждения

Строительные бетоны, как конструкционного назначения, так и специальные, можно отнести к одной из разновидностей композиционных материалов. Для таких искусственных строительных материалов одной из характерных особенностей является приобретение ими качественно новых свойств по сравнению с соответствующими характеристиками для каждого отдельно взятого составляющего компонента – так называемый синергетический эффект. Эксплуатационные характеристики полученных новых строительных материалов будут регламентироваться, как количественными и качественными свойствами составляющих компонентов, так и варьированием их рецептурно-технологических параметров [15-22].

Наполнение матрицы бетона мелкодисперсным металлическим наполнителем, обеспечило получение нового вида специальных бетонов – бетон металлонасыщенный. Благодаря хорошей адгезии минерального вяжущего и частиц металлического заполнителя, наличия в составе композиционного материала повышенного количества железосодержащих гидросиликатов и других новообразований цементного камня с повышенным содержанием химически связанной воды, может быть представлен как новый композиционный материал с широким диапазоном теплофизических, физико-механических, токопроводящих и радиационно-защитных свойств.

В физическом смысле радиационно-защитный бетон представляет собой синтезированную гетерогенную систему, свойства каждого элемента которой разнятся между собой. Так, например, один является диэлектрической связкой, а другой – электропроводящей составляющей материала. Благодаря равномерному распределению мелкодисперсного металлического заполнителя в структуре композита полученный материал с большими поверхностями раздела фаз является на микроскопическом уровне аналогии многослойных металловодных экранов. Взаимоувязывание в структуре мелкозернистого металлонасыщенного бетона искусственно синтезированных новообразований (продукты гидратации минерального вяжущего и окисленного металлического наполнителя), которые содержат повышенное содержание водорода в виде химически связанной воды и тяжелых элементов (металла), обеспечивать приобретение промежуточных радиационно-защитных свойств между металлическими и обычными бетонными экранами

Для исследования влияния рецептурно-технологических параметров и получения бетонов обладающих высокими эксплуатационными характеристиками и свойствами к радиационной защите, необходимо использовать высокоактивные композиционные вяжущие вещества, такие как тонкомолотый цемент и вяжущие низкой водопотребности [23-25].

Получение композиционных вяжущих осуществляли посредством совместного помола портландцемента ЦЕМ I 42,5Н произведенный ЗАО «Белгородский цемент» (г. Белгород) с суперпластификатором «Полипласт Премиум», в вибромельнице до величины удельной поверхности в пределах 5000-5500 см<sup>2</sup>/кг., отходы дробления гранита использовались в качестве кремнеземсодержащего компонента.

Выбор эффективного суперпластификатора производился сравнением величины диаметра расплыва мини-конуса (табл. 3) при различных концентрациях добавок и изучением их влияния на кинетику помола.

Таблица 3

#### Результаты определения оптимального содержания добавки для композиционного вяжущего

Table 3

#### Results of determining the optimal additive content for composite binder

Концентрация добавки, % от массы	Количество материалов		Диаметр расплыва мини-конуса в зависимости от вида концентрации добавки, мм		
	Тонкомолотый цемент, г	Вода, мл	«Полипласт Премиум»	СП-1	СБ-3
0,1	110	40	65	66	67
0,2	110	40	86	73	76
0,3	110	40	99	81	80
0,4	110	40	125	103	96
0,5	110	40	162	117	121
0,6	110	40	171	138	131
0,7	110	40	174	157	151
0,8	110	40	176	168	162
0,9	110	40	-	176	170
1	110	40	-	-	176

Исследованиями было установлено, что оптимальная концентрация суперпластификатора «Полипласт Премиум» составляет 0,6%. При использовании других добавок аналогичного модифицирующего направления для получения подобного эффекта требуется увеличение их дозировки.

При введении в состав композиционного вяжущего суперпластификатора «Полипласт Премиум», в оптимальном количестве 0,6% от массы процесса помола протекает существенно интенсивнее, что объясняется тем, что кроме пластифицирующего эффекта, присутствуют ускоряющие помол свойства за счет расклинивающего действия самой добавки (рис. 3).

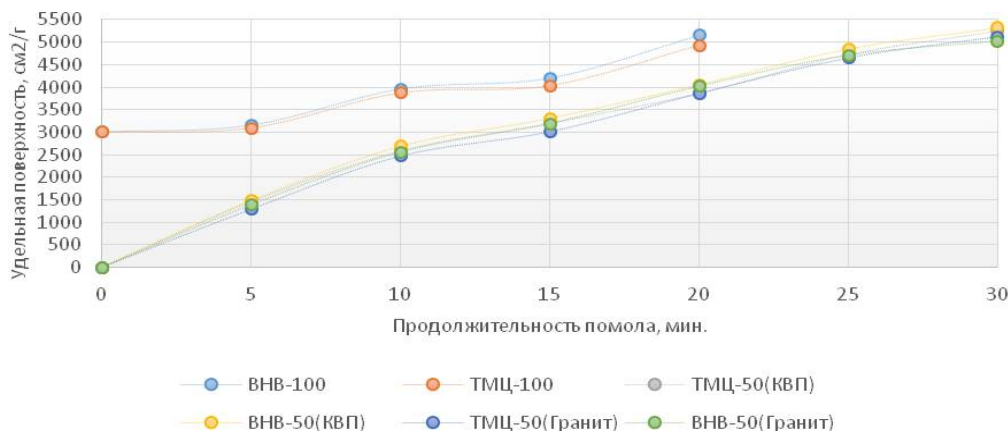


Рис. 3. Кинетика размалываемости композиционных вяжущих  
Fig. 3. Kinetics of millability of composite binders

Анализ зернового состава композиционных вяжущих говорит о том, что вяжущее низкой водопотребности характеризуется более высокой размолоспособностью, связанной с полифракционным зерновым составом и присутствием частиц меньших размеров, что в дальнейшем будет способствовать уменьшению в процессе твердения клинкерных минералов кристаллического давления, снижению пористости, благоприятно скажется на упаковке частиц и в конечном итоге приведет к оптимизации структуры цементного камня и мелкозернистого бетона за счет незначительного количества микротрещин. Портландцемент и тонкомолотый цемент, в отличие от полимодального распределения частиц вяжущего низкой водопотребности характеризуются одним четко выраженным пиком (рис. 4-5).

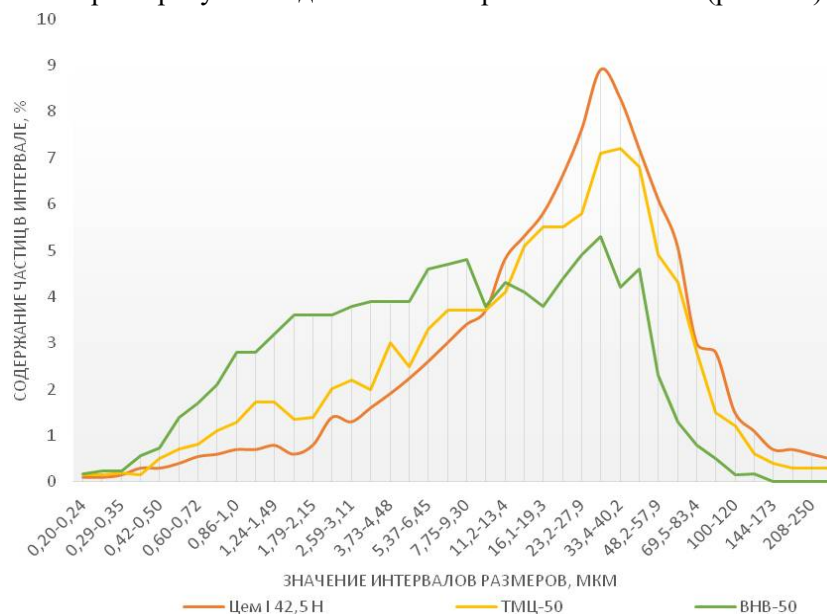


Рис. 4. Распределение частиц композиционных вяжущих по размерам  
Fig. 4. Particle size distribution of composite binders

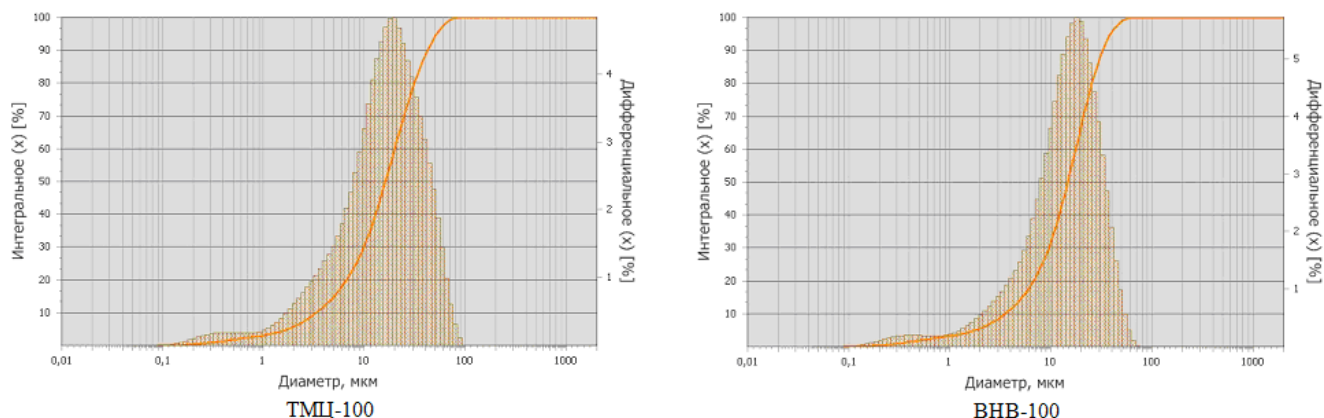


Рис. 5. Распределение частиц композиционных вяжущих ТМЦ-100 и ВНВ-100 по размерам  
Fig. 5. Particle size distribution of composite binders TMC-100 and VNV-100

По полученным данным характеристик многокомпонентных вяжущих установлено снижение водопотребности и нормальной плотности по сравнению с исходными цементами, а также наблюдается максимальное увеличение активности чисто клинкерного вяжущего ВНВ-100 (100% портландцемента) более чем на 50% (табл. 4).

Таблица 4

**Характеристики композиционных вяжущих в зависимости от вида и состава**

Table 4

**Characteristics of composite binders depending on the type and composition**

Наименование вяжущего	Нормальная плотность цементного теста, %	Сроки схватывания		Водоцементное отношение	Активность вяжущего, МПа	
		Начало схватывания, час:мин	Конец схватывания, час:мин		при изгибе	при сжатии
ЦЕМ I 42.5Н	26,2	2:50	4:40	0,42	7,2	49,9
ТМЦ-50 (на основе гранита)	26,8	2:50	4:30	0,43	5,8	40,4
ТМЦ-50 (на основе КВП)	27,2	2:30	4:20	0,44	6,5	43,1
ВНВ-50 (на основе гранита)	24,4	2:10	4:10	0,35	5,0	45,9
ВНВ-50 (на основе КВП)	25,5	2:20	4:20	0,38	8,7	49,1
ТМЦ-100	26,5	2:30	4:20	0,45	9,6	65,4
ВНВ-100	23,0	2:20	3:20	0,31	10,2	78,5

При использовании суперпластификатора «Полипласт Премиум» в дозировке равной 0,6% представляется возможным получение вяжущего вещества с прочностью не менее 69 МПа, установлено, что более высокая прочность и повышенные физико-механические свойства наблюдаются у образцов на основе ВНВ-100, что может быть объяснено улучшенной упаковкой частиц в пространстве полученного композита, низким показателем водопотребности смеси, использование тонкомолотых вяжущих совместно с добавкой суперпластификатора позволяет значительно увеличить показатели бетона.

В качестве заполнителя для проектирования радиационно-защитного бетона применяли щебень из магнетита Лебединского месторождения, которое разрабатывается карьером ОАО «Лебединский ГОК» (Белгородская область).

Для установления возможности применения в качестве заполнителя щебня из магнетита как сырья для получения высококачественного мелкозернистого радиационно-защитного бетона, были разработаны составы, в которых помимо прочего были использованы пески месторождения «Новая Таволжанка», с модулем крупности 1,2, для увеличения плотности упаковки зерен заполнителя и вяжущие вещества ВНВ-100 и портландцемент ЦЕМ I 42,5Н, характеристики полученных бетонов приведены в табл. 5-7.

Таблица 5

**Свойства мелкозернистого радиационно-защитного бетона на различных вяжущих**

Table 5

**Properties of fine-grained radiation-proof concrete on various binders**

Наименование вяжущего	Количество материалов на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси				Водовязущее отношение	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при изгибе, МПа
	Вязущее, кг/м <sup>3</sup>	Магнетитовый щебень, кг/м <sup>3</sup>	Песок, кг/м <sup>3</sup>	Вода, л/м <sup>3</sup>				
ЦЕМ I 42,5 Н	720	-	1440	283	0,39	2280	36,9	4,2
ЦЕМ I 42,5 Н	720	2675	465	298	0,41	3950	44,9	4,7

Таблица 6

Table 6

Наименование вяжущего	Количество материалов на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси				Водовязущее отношение	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при изгибе, МПа
	Вязущее, кг/м <sup>3</sup>	Магнетитовый щебень, кг/м <sup>3</sup>	Песок, кг/м <sup>3</sup>	Вода, л/м <sup>3</sup>				
ТМЦ-100	720	-	1440	295	0,41	2300	56,7	6,8
ТМЦ-100	720	2675	465	324	0,45	3950	70,8	7,8

Таблица 7

Table 7

Вид вяжущего	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> смеси				Водовязущее отношение	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при изгибе, МПа
	Вязущее, кг/м <sup>3</sup>	Магнетитовый щебень, кг/м <sup>3</sup>	Песок, кг/м <sup>3</sup>	Вода, л/м <sup>3</sup>				
ВНВ-100	720	-	1440	238	0,35	2390	75,4	9,3
ВНВ-100	720	2675	465	252	0,28	3950	94,3	10,6

Изучение физико-механических свойств позволило установить, что использование в составе нового композиционного материала металлического заполнителя в виде магнетитового щебня и композиционных вяжущих на основе техногенного сырья из отсеков дробления различных горных пород, позволит существенно увеличить характеристики бетона. Рассматриваемые составы имеют высокие показатели плотности и прочности, что способствует повышению сопротивляемости материала бетона проникающей радиации, а также увеличению эксплуатационного срока службы бетона, и в дальнейшем улучшению эффективности радиационно-защитного бетона и сокращению сметных расходов на его производство.

**Выводы**

На основе магнетитового щебня и композиционных вяжущих с использования отходов горнодобывающей промышленности получен бетон с радиационно-защитными свойствами, который может использоваться для биологической защиты от ионизирующих излучений естественного и искусственного происхождения при строительстве учреждений здравоохранения, научно-исследовательских организаций, в промышленном и гражданском строительстве.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках реализации Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова

### Литература

1. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М., Толыпин Д.А. Сравнительная стойкость бетонов с заполнителем различных размеров и без него // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017. № 11. С. 43 – 47.
2. Глаголев Е.С., Лесовик Р.В., Ключев С.В., Богусевич В.А. Деформативные свойства мелкозернистого бетона // Строительные материалы. 2014. № 1 – 2. С. 113 – 116.
3. Kurtulus R., Kavaz T. Investigation on the physical properties, shielding parameters, glass formation ability, and cost analysis for waste soda-lime-silica (SLS) glass containing SrO. 2020 Radiation Physics and Chemistry 176, 109090.
4. Шейченко М.С., Алфимова Н.И., Вишневская Я.Ю. Современные композиционные радиационно-защитные материалы строительного назначения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 5. С. 15 – 19.
5. Ястребинский Р.Н., Дороганов В.А., Ястребинская А.В., Евтушенко Е.И. Радиационно-термическое упрочнение жаростойкого радиационно-защитного композиционного материала // Огнеупоры и техническая керамика. 2014. № 10. С. 3 – 6.
6. Fomina E.V., Lesovik V.S., Kozhukhova N.I., Chulenyov A.S. Role of solutions when metasomatic transformations in construction composites // Materials Science Forum. 2020. Т. 974 MSF. P. 168 – 174.
7. Калашников В.И., Демьянова В.С., Калашников Д.В., Махамбетова К.Н. Оптимизация состава особо тяжелого высокопрочного бетона для защиты от радиации // Строительные материалы. 2011. № 8. С. 25 – 28.
8. Lesovik R.V., Ageeva M.S., Matyukhina A.A., Fomina E.V. On the issue of designing structures of composite binders // Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Т. 95. P. 246 – 252.
9. Lotfi-Omran, O., Sadrumontazi, A., Nikbin, IMA comprehensive study on the effect of water to cement ratio on the mechanical and radiation shielding properties of heavyweight concrete // Construction and Building Materials. 2019. 229. 116905.
10. Long-Zhang, S., Chang-Jun, Q., Xiao-Yan, W., Guo-Jun, K. Research on preparation of particles by crushing the waste glass which contains lead and the addition technique in concrete // Ferroelectrics. 2019. 548 (1). P. 72 – 81.
11. Рахимова Н.Р. Влияние добавок молотого кварцевого песка на кинетику твердения композиционного шлакощелочного вяжущего // Строительные материалы. 2007. № 7. С. 78 – 79.
12. Лесовик Р.В., Ключев А.В., Ключев С.В. Мелкозернистый сталефибробетон на основе техногенного песка для получения сборных элементов конструкций // Технологии бетонов. 2014. №2 (91). С. 44 – 45.
13. Косум В.С., Левина С.А. Заполнители для радиационно-защитных бетонов // Знание. 2017. № 12-1 (52). С. 69 – 72.
14. Ерофеева И.В., Федорцов В.А., Афонин В.В., Емельянов Д.В., Подживотов Н.Ю., Моисеев В.В., Кремчеев А.Н. Исследования влияния повышенной влажности и переменных повышенных температур на демпфирующие свойства цементных композитов // Chemical Bulletin. 2018. Т. 1. № 3. С. 62 – 71.
15. Глаголев Е.С., Лесовик В.С., Чернышева Н.В., Лесниченко Е.Н. Проектирование состава КГВ с минеральной добавкой опоковидного мергеля // Строительство и реконструкция. 2020. № 2 (88). С. 35 – 43.
16. Ключев С.В., Лесовик Р.В. Дисперсно-армированный мелкозернистый бетон с использованием полипропиленового волокна // Бетон и железобетон. 2011. №3. С. 7 – 9.
17. Ключев С.В. Мелкозернистый сталефибробетон на основе отсева кварцитопесчанника // Белгородская область: прошлое, настоящее и будущее: материалы научн.-практ. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. Ч.3. С. 27 – 31.
18. Alfimova N.I., Shurakov I.M., Ageeva M.S., Kozhukhova N.I. Research on the possibility of using volcanic sand of Kamchatka as a component of a composite binder // Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Т. 95. P. 113 – 117.
19. Mirzoeva A.R. Organizational and technological features of production with complex use of raw materials // Chemical Bulletin. 2018. Т. 1. №3. P. 52 – 61.
20. Botsman L.N., Strokova V.V., Ogurtsova Y.N. Properties of energy effective concrete based on artificial granulated aggregate // Materials Science Forum. 2018. Т. 945 MSF. P. 244 – 249.
21. Elistratkin M.Y., Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Pospelova E.A., Shatalova S.V. New point of view on materials development // IOP Conferece Series: Materials Science and Engineering. 2018. P. 032020.



22. Lesovik V.S., Erofeev V.T., Fomina E.V., Kozhukhova M.I., Volodchenko A.A., Tolstoy A.D. Technogenic metasomatoses in construction material science // Ibausil. Conference proceedings. 2018. P. 2523 – 2527.
23. Матюхин П.В., Ястребинская А.В., Павленко З.В. Использование модифицированного железорудного сырья для получения конструкционной биологической защиты атомных реакторов // Advances in current natural sciences. 2015. № 9. P. 507 – 510.
24. Prochon P., Piotrowski T. The effect of cement and aggregate type and w/c ratio on the bound water content and neutron shielding efficiency of concretes // Construction and Building Materials. 2020. 264.120210.
25. Lermen R.T., Prauchner M.B., de Almeida Silva R., Bonsembiante F.T. Using wastes from the process of blasting with steel shot to make a radiation shield in mortar // Sustainability (Switzerland). 2020. 12 (16). 6674.

### References

1. Rahimbaev SH.M., Tolypina N.M., Tolypin D.A. Sravnitel'naya stojkost' betonov s zapolnitelem razlichnyh razmerov i bez nego. Vestnik BGTU im. V. G. SHuhova. 2017. 11. P. 43 – 47. (rus.)
2. Glagolev E.S., Lesovik R.V., Klyuev S.V., Bogusevich V.A. Deformativnye svoystva melkozernistogo betona. Stroitel'nye materialy. 2014. № 1 – 2. S. 113 – 116. (rus.)
3. Kurtulus R., Kavas T. Investigation on the physical properties, shielding parameters, glass formation ability, and cost analysis for waste soda-lime-silica (SLS) glass containing SrO. 2020 Radiation Physics and Chemistry 176,109090.
4. SHEjchenko M.S., Alfimova N.I., Vishnevskaya YA.YU. Sovremennye kompozicionnye radiacionno-zashchitnye materialy stroitel'nogo naznacheniya. Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova. 2017. 5. P. 15 – 19. (rus.)
5. YAstrebinskij R.N., Doroganov V.A., YAstrebinskaya A.V., Evtushenko E.I. Radiacionno-termicheskoe uprochnenie zharostojkogo radiacionno-zashchitnogo kompozicionnogo materiala. Ogneupory i tekhnicheskaya keramika. 2014. 10. P. 3 – 6. (rus.)
6. Fomina E.V., Lesovik V.S., Kozhukhova N.I., Chulyenyov A.S. Role of solutions when metasomatic transformations in construction composites. Materials Science Forum. 2020. 974 MSF. P. 168 – 174.
7. Kalashnikov V.I., Dem'yanova V.S., Kalashnikov D.V., Mahambetova K.N. Optimizaciya sostava osobo tyazhelogo vysokoprochnogo betona dlya zashchity ot radiacii. Stroitel'nye materialy. 2011. 8. P. 25 – 28. (rus.)
8. Lesovik R.V., Ageeva M.S., Matyukhina A.A., Fomina E.V. On the issue of designing structures of composite binders. Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. 95. P. 246 – 252.
9. Lotfi-Omran, O., Sadrmomtazi, A., Nikbin, IMA comprehensive study on the effect of water to cement ratio on the mechanical and radiation shielding properties of heavyweight concrete. 2019. Construction and Building Materials. 229, 116905.
10. Long-Zhang, S., Chang-Jun, Q., Xiao-Yan, W., Guo-Jun, K. Research on preparation of particles by crushing the waste glass which contains lead and the addition technique in concrete. 2019. Ferroelectrics. 548 (1). P. 72 – 81.
11. Rahimova N.R. Vliyanie dobavok molotogo kvarceвого песка na kinetiku tverdeniya kompozicionnogo shlakoshchelochного vyazhushchego. Stroitel'nye materialy. 2007. 7. P. 78 – 79. (rus.)
12. Lesovik R.V., Klyuev A.V., Klyuev S.V. Melkozernistyj stalefibrobeton na osnove tekhnogennogo песка dlya polucheniya sbornyh elementov konstrukcij. Tekhnologii betonov. 2014. №2 (91). S. 44 – 45. (rus.)
13. Kosum V.S., Levina S.A. Zapolniteli dlya radiacionno-zashchitnyh betonov. Znanie. 2017. 12-1 (52). P. 69 – 72. (rus.)
14. Erofeeva I.V., Fedorcov V.A., Afonin V.V., Emel'yanov D.V., Podzhivotov N.YU., Moiseev V.V., Kremcheev A.N. Issledovaniya vliyaniya povyshennoj vlazhnosti i peremennyh povyshennyh temperatur na demp-firuyushchie svoystva cementnyh kompozitov. Chemical Bulletin. 2018. 1 (3). P. 62 – 71. (rus.)
15. Glagolev E.S., Lesovik V.S., CHernysheva N.V., Lesnichenko E.N. Proektirovanie sostava KGV s mineral'noj dobavkoj opokovidного mergelya. Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2020. № 2 (88). P. 35 – 43. (rus.)
16. Klyuev S.V., Lesovik R.V. Dispersno-armirovannyj melkozernistyj beton s ispol'zovaniem polipropileno-vogo volokna. Beton i zhelezobeton. 2011. №3. S. 7 – 9. (rus.)
17. Klyuev S.V. Melkozernistyj stalefibrobeton na osnove otseva kvarcitopeschannika. Belgorodskaya oblast': proshloe, nastoyashchee i budushchee: materialy nauchn.-prakt. konf. Belgorod: Izd-vo BGTU, 2011. CH.3. S. 27 – 31. (rus.)
18. Alfimova N.I., Shurakov I.M., Ageeva M.S., Kozhukhova N.I. Research on the possibility of using volcanic sand of Kamchatka as a component of a composite binder. Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. 95. P. 113 – 117.

19. Mirzoeva A.R. Organizational and technological features of production with complex use of raw materials. *Chemical Bulletin*. 2018. 1 (3). P. 52 – 61. (rus.)
20. Botsman L.N., Strokova V.V., Ogurtsova Y.N. Properties of energy effective concrete based on artificial granulated aggregate. *Materials Science Forum*. 2018. 945 MSF. P. 244 – 249.
21. Elistratkin M.Y., Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Pospelova E.A., Shatalova S.V. New point of view on materials development. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. P. 032020.
22. Lesovik V.S., Erofeev V.T., Fomina E.V., Kozhukhova M.I., Volodchenko A.A., Tolstoy A.D. Technogenic metasomatose in construction material science. *Ibausil. Conference proceedings*. 2018. P. 2523 – 2527.
23. Matyuhin P.V., YAstrebinskaya A.V., Pavlenko Z.V. Ispol'zovanie modifitsirovannogo zhelezorudnogo syr'ya dlya polucheniya konstrukcionnoj biologicheskoy zashchity atomnykh reaktorov. *Advances in current natural sciences*. 2015. 9. P. 507 – 510. (rus.)
24. Prochon P., Piotrowski T. The effect of cement and aggregate type and w/c ratio on the bound water content and neutron shielding efficiency of concretes. *Construction and Building Materials*. 2020. 264.120210.
25. Lermen R.T., Prauchner M.B., de Almeida Silva R., Bonsembiante F.T. Using wastes from the process of blasting with steel shot to make a radiation shield in mortar. *Sustainability (Switzerland)*. 2020. 12 (16). 6674.

*Sopin D.M. \*, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.),  
Klyuev S.V., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,  
Ageeva M.S., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,  
Lesovik R.V., Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor,  
Bogusevich G.G., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.),  
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia*  
\*Corresponding author E-mail: beton138@mail.ru

## DEVELOPMENT OF RADIATION-PROOF CONCRETE COMPOSITIONS

**Abstract:** the article considers the possibility of using composite binders and magnetite as components of concrete with radiation-proof properties. The use of the developed concrete is possible not only when it is necessary to build nuclear power plants, but also to create bunkers or anti-radiation shelters. A special feature of concretes used for the protection and design of nuclear reactor cranes is their properties, which they must have. These properties include: low thermal conductivity, increased density, high temperature resistance, reduced values of the coefficient of thermal expansion, shrinkage and creep. Technogenic raw materials for the production of very heavy concrete are studied, the main physical and mechanical characteristics, the requirements that need to be considered in the selection of raw mix composition for protective concrete are analyzed. The paper presents a comparison of physical and mechanical characteristics, the advantages and disadvantages of introducing a binder of various types: cement, cement with a superplasticizer and a binder of low water consumption. It was found that the use of a low-water-consumption binder increases the physical and mechanical characteristics while reducing the consumption of cement in the raw material mix compared to traditional heavy concrete with cement.

**Keywords:** cement, magnetite, a binder with low water demand, superplasticizer, heavy concrete, radiation-shielding concretes

**Для цитирования:** Сопин Д.М., Ключев С.В., Агеева М.С., Лесовик Р.В., Богусевич Г.Г. Разработка составов радиационно-защитного бетона // *Строительные материалы и изделия*. 2020. Том 3. № 5. С. 24 – 33. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-5-24-33

**For citation:** Sopin D.M., Klyuev S.V., Ageeva M.S., Lesovik R.V., Bogusevich G.G. Development of radiation-proof concrete compositions. *Construction Materials and Products*. 2020. 3 (5). P. 24 – 33. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-5-24-33

Поступила в редакцию 3 августа 2020 г.  
Принята в доработанном виде 5 сентября 2020 г.  
Одобрена для публикации 8 октября 2020 г.

Received: August 3, 2020.  
Revised: September 5, 2020.  
Accepted: October 8, 2020.