

Так как испытания проводились на разрывной машине, что не является в полной мере корректным способом измерения прогиба образца (через перемещение траверсы), анализ полученных результатов проведен сравнительно с эталонными образцами. В дальнейшем результаты полученные данным способом будут сопоставлены и откорректированы с результатами, полученными на специализированном оборудовании.

УДК 666.972.69; 691.32

## **ТЕОРЕТИКО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НОРМАЛИЗАЦИИ ГРАНУЛОМЕТРИИ ПРИРОДНОГО ПЕСКА**

*ФЕДОРОВИЧ П. Л., ЯКИМОВИЧ В. Д.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

**Введение.** Строительная отрасль Республики Беларусь использует для приготовления бетона природный мелкий заполнитель – кварцевый песок, качество которого (с учетом выработки карьеров) постоянно ухудшается. Отрасль вынуждено использует мелкозернистый (модуль крупности  $M_k < 1,5$  ед., а зачастую  $M_k < 1,0$  ед.), что сопровождается ухудшением качества бетона, несмотря на существенный (10–20 %) перерасход вяжущего. Решить эту проблему возможно путем обогащения природного песка более крупными фракциями гранитного отсева – побочного продукта производства гранитного щебня на РУПП «Гранит». Однако его применение в исходном виде, т.е. в совокупности всех образующихся при дроблении горной породы фракций, оказалось не выгодным. Причина в том, что фракции с размером зерна менее 0,5 мм характеризуются чрезвычайно развитой удельной поверхностью, массовым наличием микротрещин в структуре твердой фазы и игольчато-лещадной формой зерен. В результате содержание (до 30–35 % по массе) этих фракций в отсеве делают его малопригодным для бетонов и растворов при «прямом» применении. Вместе с тем, если вывести из гранитного отсева фракции менее 0,5 мм, то оставшийся материал

(а это 65–75 % от общей массы) обеспечивает эффективность технологии обогащения используемых в строительстве местных мелкозернистых песков при существенном повышении качества бетона (раствора) и значительной экономии (до 15–20 %) цемента. Эффект обеспечивается за счет нормализации гранулометрического состава как мелкого заполнителя, так и его смеси с крупным заполнителем в бетоне, что отражают результаты исследований, приведенные в настоящей статье.

Теоретические основы формирования оптимальных «структур» сыпучих твердофазных материалов

Формирование физико-механических и эксплуатационных свойств конструкционного бетона во многом предопределяется плотностью взаимной «укладки» зерен полидисперсного заполнителя, а необходимый и достаточный объем цементного камня в нем (соответственно – расход цемента) – пустотностью и удельной поверхностью смеси песка и крупного заполнителя. Учитывая сложность оценки физических свойств реальных полидисперсных сыпучих материалов, было введено понятие «фиктивных или идеальных» зернистых сред (в частности, грунта). При этом за основу взято представление о зернах сыпучего материала в виде сферы (шаров одинакового или разных размеров; рис. 1).

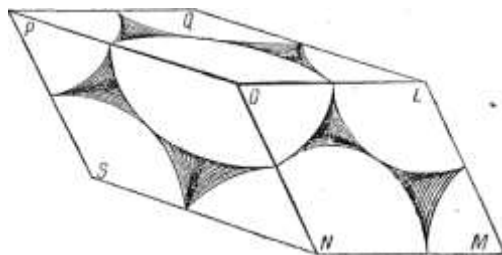


Рис. 1. Фиктивный грунт «по Слихтеру» [1]

Изучение геометрических параметров этой конфигурации даёт возможность вычислить величину пористости  $m$ . Различные расположения шаров фиктивного грунта колеблются между двумя крайними конфигурациями (рис. 2,  $a$  и  $b$ ), из которых одна соответствует теснейшему расположению шаров ( $b$ ), а другая – ихнаиболее свободному ( $a$ ) расположению (при условии взаимного соприкос-

новения). Очевидно, угол  $\theta$  ромба, из которого образованы грани ромбоэдра, изменяется в пределах от  $\theta = 90^\circ$  до  $\theta = 60^\circ$ .

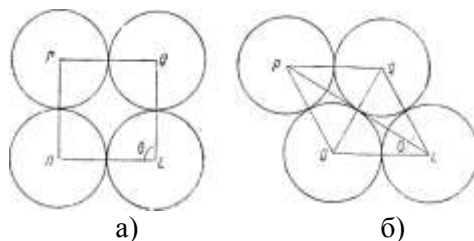


Рис. 2. Рыхлая укладка (а), плотная укладка (б)

После ряда преобразований Сликтер [1] получил фундаментальную формулу

$$m = 1 - \frac{\pi}{6(1 - \cos\theta)\sqrt{1 + 2\cos\theta}}, \quad (1)$$

из которой следует, что пористость (объем пустот) фиктивного грунта, состоящего из одинаковых шарообразных частиц, не зависит от их диаметра; она зависит только от их относительной конфигурации, обусловливаемой величиной угла  $\theta$ .

Крайние значения угла  $\theta$  равны  $60^\circ$  и  $90^\circ$  следовательно, крайние значения пористости  $m$  по формуле (1) будут равны соответственно

$$m = 0,259; m = 0,476.$$

Так как  $\frac{dm}{d\theta} > 0$ , то интервалом *теоретической пористости* будет

$$0,259 \leq m \leq 0,476$$

Так как  $\frac{dm}{d\theta} > 0$ , то интервалом *теоретического просвета* будет

$$0,0931 \leq n \leq 0,2146$$

Для перехода от фиктивного грунта к естественному были развиты представления о составе и строении естественных грунтов на основании данных механического (ситового) анализа и определения его пустотности. Механический анализ даёт групповые (фракционные) характеристики состава грунта, указывая процентное содержа-

ние отдельных фракций, что нашло применение при оценке гранулометрического состава реальных заполнителей для бетона.

Развитию этих представлений способствовали исследования, выполненные в XIX и начале XX века Дарси, Козени, Сликтером, Зауэрбреем, Кингом, Зельгеймом, Газеном, Замариным и другими исследователями [1–4], которые (работая в области фильтрационной гидравлики) подготовили условия для осуществления системной оценки качества полидисперсных сыпучих материалов применительно к технологии бетона.

**Влияние гранулометрии сыпучих материалов на пустотность или плотность упаковки зерен.** Под строением (или сложением) таких систем, как песок, щебень (гравий), подразумевается совокупность ряда внешних признаков: размер и форма зерен, шероховатость поверхности, взаиморасположение их в пространстве, и связанная с ними пустотность этой системы. В естественном песке, щебне, где зерна имеют разнообразные форму и размеры, величина пустотности отличается от приведенных ранее теоретических пределов.

Ее величина зависит от плотности упаковки зерен [5]. Рыхлая упаковка характеризуется неустойчивым пространственным взаиморасположением зерен из-за отсутствия контактов соприкосновения всех зерен и большими промежутками между ними (рис. 3, *а*). Плотная упаковка характеризуется устойчивым пространственным взаиморасположением зерен и меньшей пустотностью (рис. 3, *б*).

Рыхлая упаковка может легко переходить в плотную под влиянием нормальной нагрузки и колебательных воздействий. Наибольшее уплотнение сыпучих сред достигается при вибрации. При этом степень уплотнения и соответственно величина пустотности не зависят от того, сухие ли зерна или насыщенные водой, а также приложена ли к материалу нормальная нагрузка. Плотные упакованные зерна не реагируют на статическую нагрузку и вибрационное воздействие, так как в этом случае изменяется весьма незначительно взаимное расположение зерен в пространстве, а это предпосылка обеспечения прочности бетона на сжатие.

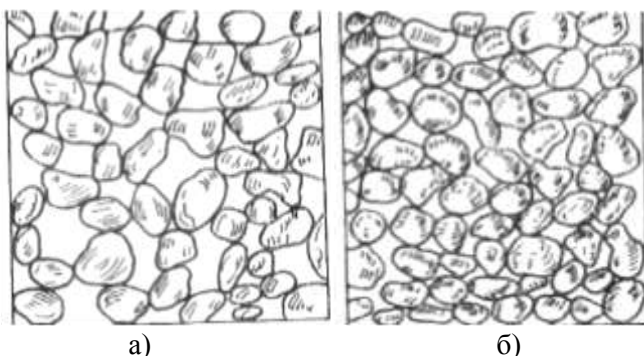


Рис. 3. Упаковка зерен песка, щебня или гравия:  
*а* – рыхлая, *б* – плотная [5]

Было установлено [5], что пустотность разных видов песка является величиной постоянной, если между смежными фракциями соблюдается одинаковое соотношение, в частности, соответствующее действующим стандартам по оценке гранулометрии заполнителей и равное 2-ум.

Результаты экспериментов по изучению изменения пустотности щебня и гравия [5] показали, что установленные закономерности для песка справедливы и для значительно более крупных зерен в виброуплотненном состоянии.

Если в смеси между двумя смежными фракциями щебня или гравия соблюдается отношение  $a \sim 2$ , то в таком случае их пустотность и в виброуплотненном состоянии независимо от содержания в смеси той или иной фракции – величина постоянная. Разница только в том, что пустотность щебня больше пустотности гравия, а пустотность щебня пористых пород больше, чем плотных из-за более развитой (шероховатой) поверхности и относительно меньшей собственной массы, затрудняющих пространственную перегруппировку таких зерен.

Природный песок с округлой формой зерен и гравий в виброуплотненном состоянии имеют одинаковую пустотность, равную примерно 29 %. Пустотность же искусственных песков равна пустотности щебня, из которого они получены дроблением. По опытным данным пустотность дробленого песка в виброуплотненном состоянии колеблется в узких пределах – 0,32–0,34 %.

Если соотношение между смежными двумя фракциями гравия или щебня меньше 2, пустотность их в виброуплотненном состоянии увеличивается и в этом случае наблюдается полная аналогия с изменением пустотности песка. Когда отношение между смежными фракциями более 2, пустотность гравия и щебня уменьшается и тем значительнее, чем больше отношение  $a_k$ . Экспериментально установлено, что наименьшая пустотность песка, гравия и щебня в виброуплотненном состоянии достигается в случаях, когда «диаметр» зерен заполняющей фракции относится к «диаметру» зерен основной фракции как 1 : 8 (для зерен шарообразной формы это отношение составляет 1 : 7). При  $a < 8$  крупные зерна раздвигаются более мелкими, в связи с чем в каждом конкретном случае пустотность смеси зерен в виброуплотненном состоянии характеризуется различными величинами.

Для смеси песка и крупного заполнителя, на основании рассмотренных закономерностей изменения плотности упаковки и пустотности песка и щебня (гравия), можно сделать следующие выводы. Если в смеси песка и щебня (гравия) между двумя смежными фракциями зерен соблюдается определенное отношение (допустим, стандартизированное,  $a = 2$ ), то в таком случае упаковка зерен данной формы будет тем плотнее, а пустотность тем меньше, чем больше различных фракций зерен содержится в смеси. Таким образом, основной задачей нормализации гранулометрического состава тонких и мелкозернистых песков является придание конечному (обогащенному) материалу недостающих крупных фракций, что обеспечивает снижение его пустотности. Одновременно будет существенно снижаться удельная поверхность обогащенного песка. Следует учитывать также эффект от того, что зерна гранитного отсева имеют шероховатую поверхность и обеспечат повышение сцепления цементного камня с зернами заполнителя в бетоне и рост его плотности (непроницаемости) и прочности.

Для решения этой задачи использовали крупные фракции предварительно рассеянного гранитного отсева, отделив мелкие фракции по ситы № 0,63. В крупных фракциях (0,5–5,0 мм) содержалось примерно 3,0 % пылевидных фракций гранитной породы, которые «адсорбируются» на поверхности более крупных зерен сухого отсева и удерживаются ей.

**Расчет и подбор гранулометрических составов обогащенного отсева песка.** Принцип подбора требуемого зернового состава песка заключался в определении необходимого содержания недостающих в зерновом составе исходного природного песка крупных фракций, обеспечивающего расчетный модуль крупности и введение их в состав обогащаемого мелкого заполнителя с последующими испытаниями его в бетонных смесях и бетоне.

В таблице 1 приведены экспериментально полученные данные, отражающие результаты исследований по подбору гранулометрического состава обогащенного крупными фракциями отсева исходного природного (среднего) песка с начальным модулем от  $M_k \sim 0,9$  до  $M_k \sim 2,5$  после доведения его до зернового состава, обеспечивающего значения модуля крупности вплоть до  $M_k = 3,5$ .

Расчетное количество недостающих в природном песке фракций определено из общей зависимости по ГОСТ 8735-88 и ГОСТ 8736-2014, отражающей взаимосвязь их количественного содержания и расчетного значения модуля крупности песка:

$$M_k = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_i + A_n}{100}, \text{ доли ед.}, \quad (2)$$

и решенной, относительно любой из учитываемых в формуле (2) фракций, т. е. –  $A_i$ :

$$A_i = 100M_k - [(A_1 + A_2 + \dots + A_i + A_n) - A_i], \quad (3)$$

В обеих формулах значения  $A_1 \dots A_n$  соответствуют полным остаткам на ситах стандартного набора, выраженным в процентах, за исключением фракций, прошедших через сито № 0,14 (пылевидных фракций). В соответствии с ГОСТ 8735-88 (п. 3.5) при обработке результатов эти формулы конкретизируются (для стандартного набора сит) следующим образом.

По результатам просеивания вычисляют:

– частный остаток на каждом сите ( $a_i$ ) в процентах по формуле

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \quad (4)$$

где  $m_i$  – масса остатка на данном сите, г;

$m$  – масса просеиваемой навески, г;  
 – полный остаток на каждом сите ( $A_i$ ) в процентах по формуле

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i, \quad (5)$$

где  $a_{2,5}$ ,  $a_{1,25}$ ,  $a_i$  – частные остатки на соответствующих ситах.

В табл. 1 сведены обобщающие (накопленные по результатам исследований), данные по гранулометрии 4-х видов исходного природного (тонкого, очень мелкого, мелкого и среднего) песка, крупных фракций отсева (начиная с размера  $\sim 0,5$  мм) и обогащенного ими песка, а также долевое содержание исходного песка и отсева в обогащенном заполнителе.

Таблица 1

Накопленные данные по обогащению природного песка

Вид мелкого заполнителя	Зерновой состав (%) по фракциям, мм:						Мк, доли ед.
	< 0,14	0,14	0,315	0,63	1,25	2,5	
1	2	3	4	5	6	7	8
А. Гранулометрия природного и обогащенного песка							
1. Природный (тонкий)	9,0	90,0	1,0	0	0	0	$\sim 0,9$
2. Крупные фракции отсева	–	–	–	6,5	16,4	30,0	–
3. Обогащенный песок при исходном $M_k = 0,91$							
3.1. средний	6,4	61,6	0,5	4,2	10,3	17,0	2,0
3.2. средний	5,8	55,1	0,4	5,1	12,6	21,0	2,25
3.3. средний	5,1	48,8	0,4	6,0	14,9	24,8	2,5
4. Песок завода «Спецж/б»	20,4	63,1	15,0	1,1	0,4	–	$\sim 1,0$
5. Обогащенный песок при исходном $M_k \sim 1,0$							
5.1. средний	11,4	35,1	8,3	6,5	14,7	24,0	2,5
5.2. крупный	8,4	26,0	6,2	8,2	19,4	31,8	3,0
5.3. повышенной крупности	6,9	21,4	5,1	9,1	21,7	35,8	3,25
6. Природный (очень мелкий)	15,9	49,5	18,5	3,8	8,2	4,1	1,50



Продолжение табл. 1

7 Обогащенный песок при исходном $M_k = 1,5$							
7.1. Средний	10,5	44,4	14,8	5,8	12,7	11,8	2,01
7.2. Средний	9,5	40,0	13,3	6,5	14,7	16,9	2,25
7.3. Средний	8,5	35,9	12,0	7,2	16,5	19,9	2,47
7.4. Крупный	7,3	30,7	10,2	8,1	18,9	24,8	2,75
7..5 Крупный	6,3	26,7	8,9	8,7	20,7	28,6	2,97
8. Природный (средний)	11,5	36,6	21,4	7,3	15,5	7,7	2,02
9. Обогащенный песок при исходном $M_k = 2,00$							
9.1. Средний	9,1	29,1	17,1	8,5	19,0	17,2	2,50
9.2. Крупный	8,0	25,9	14,6	9,3	21,6	20,8	2,73
9.3. Крупный	6,8	21,6	12,7	9,7	22,5	26,7	3,00
9.4. Повышенной крупности	5,5	17,6	10,3	10,3	24,4	31,8	3,26
10. Обогащенный песок при исходном $M_k = 2,5$							
10.1. Крупный	5,5	18,1	18,2	11,2	25,0	22,0	2,98
10.2. Повышенной крупности	3,5	11,6	11,6	11,9	27,8	33,5	3,49
Б. Долевое содержание природного песка и крупных фракций отсева в обогащенном заполнителе, кг/1000 кг							
3а. Обогащенный песок	Природный тонкий ( $M_k = 0,9$ ), кг		Отсев, кг			$M_k$ , доли ед.	
3.1. средний	680		320			2,0	
3.2. средний	610		390			2,25	
3.3. средний	540		460			2,5	
5а. Обогащенный завода «Спецж/б»	Природный тонкий ( $M_k = 1,0$ ), кг		Отсев, кг				
5.1. средний	560		440			2,5	
5.2. средний	420		580			3,0	
5.3. средний	340		660			3,25	

7а. Обогащенный песок	Природный очень мелкий ( $M_k \sim 1,5$ ), кг	Отсев, кг	
7.1. Средний	811	189	2,00
7.2. Средний	731	269	2,25
7.3. Средний	656	344	2,50
7.4. Крупный	561	439	2,75
7.5. Крупный	488	512	3,0
8а. Обогащенный песок	Природный мелкий ( $M_k = 2,0$ ), кг	Отсев, кг	
9.1. Средний	797	203	2,50
9.2. Крупный	694	306	2,75
9.3. Крупный	591	409	3,00
9.4. Повышенной крупности	481	519	3,25
10а. Обогащенный песок	Природный средний ( $M_k = 2,5$ ), кг	Отсев, кг	
10.1. Крупный	749	251	$\sim 3,0$
10.2. Повышенной крупности	480	520	$\sim 3,5$

В соответствии с разработанной технологией обогащения [6–8] песок нормализованного гранулометрического состава получают непосредственно на стадии приготовления бетона. Для этого природный (исходный) песок и гранитный отсев (фракций  $\sim 0,5$ – $5,0$  мм) дозируют на замес из соответствующих расходных бункеров в соотношении (долях), приведенном в табл. 1. Промежуточные величины долей (при необходимости) определяют интерполяцией. Такой вариант технологии обогащения реализуется на существующих бетоносмесительных узлах (установках) без их модернизации.

**Свойства бетона на обогащенном песке.** В табл. 2 приведены результаты исследований влияния гранулометрии песка, изменяющейся при его обогащении крупными фракциями гранитного отсева, на прочность бетона в проектном возрасте (28 сут), твердевшего

в стандартизированных нормально-влажностных условиях ( $t = 20 \pm 3^\circ\text{C}$ ;  $\phi \geq 90\%$ ). Прочность бетона на сжатие определяли на сериях (4–6 шт.) образцов  $100 \times 100 \times 100$  мм, приведенных к базовому размеру ( $K = 0,95$ ) по ГОСТ 18105-2018; ГОСТ 10180-2012, водопоглощение по ГОСТ 12730.3, морозостойкость ГОСТ 10060.2-95 и др.

Таблица 2

Свойства бетона

№ состава бетона	Характеристики песка:			Водопоглощение по массе $W_m, \%$	Морозостойкость, циклы*	Прочность на сжатие в 28 сут.	
	$M_k$ , д.ед.	Содержание, кг				МПа	%
		песка	отсева				
1	1,0	700	–	4,55	150	37,5	100
2	2,0	492	208	3,40	200	–	–
3	2,5	389	311	3,25	300	46,7	125
4	3,0	288	412	2,60	300	47,2	126
5	3,5	185	515	2,45	400	48,7	130

*Примечание:* \* в пересчете на базовый для бетона общестроительного назначения 1-ый метод по ГОСТ 10060.1-95.

Обобщение накопленных результатов исследований как в части роста прочности бетона при обогащении крупными фракциями гранитного отсева как природных песков с исходным модулем крупности  $M_k \leq 1,0-2,0$  (до  $M_k \geq 2,5-3,5$  после обогащения), так и по изменению эксплуатационных характеристик бетона на обогащенном песке: снижению водопоглощения, росту морозо- и коррозионной (в среде солей хлора) и др., показывает, что данный технологический прием не имеет противопоказаний и может быть применен во всех видах бетона для строительных изделий и конструкций без ограничений.

Его эффективность базируется на обеспечиваемом росте плотности и прочности бетона, который, в свою очередь, основывается на улучшении соотношения фракций и снижении пустотности мелкого заполнителя, снижении его удельной поверхности, повышении качества сцепления поверхности заполнителя с цементным камнем, снижении водосодержания (соответственно – водоцементного отношения) при сохранении равноподвижности бетонной смеси, что позволяет на 10–20 % снизить расход цемента.

Установлено, что в целом, разрабатываемый прием обогащения рационален для всех групп (ГОСТ 8736-2014) мелкозернистых песков с  $M_k \leq 2,0$  и, особенно, характеризующихся  $M_k \leq 1,5$ , т. е. очень мелких и тонких песков. Правила его применения сформулированы в разработанном авторами технологическом регламенте.

Оценка возможности снижения фактического расхода цемента в производственных условиях должна осуществляться для конкретных пользователей разработки применительно к конкретным условиям изготовления сборных изделий либо производства бетонных работ при устройстве (возведении) монолитных конструкций. В частности, как с учетом качества исходного мелкого заполнителя для бетона, так и режимов приготовления, транспортировании, укладки-уплотнения и твердения бетона, а также предъявляемых к нему требований (механических и эксплуатационных).

Обобщение данных накопленных в целом по работе показывает, что при сохранении принципа равенства прочности бетона на природном песке с  $M_k \leq 2,0$  и обогащенном до  $M_k \geq 2,5$  возможно снизить расход цемента на 10–20 % на каждом производимом на мелкозернистых песках  $1 \text{ м}^3$  бетона. При этом одновременно не только не снижаются, но становятся более высокими качественные характеристики бетона (средняя плотность и плотность, как характеристика структуры материала) и, как следствие, улучшаются эксплуатационные свойства бетона.

Эти результаты подтверждены при опытно-производственном внедрении разработки на заводах сборного железобетона: ОАО «Спецжелезобетон» г. Микашевичи (производство ж/б напорных и безнапорных труб и преднапряженных шпал железнодорожных), ОАО «Могилевжелезобетон» (производство полурамсельхоз зданий и элементов фундаментов), ОАО «Барановичский ЗЖБИ» (производство преднапряженных ребристых плит  $3 \times 12 \text{ м}$  и свай забивных), ОАО «Забудова» (производство преднапряженных плит пустотного настила и вибропрессованных тротуарных плит).

**Заключение.** Предложенная технология обогащения природного песка крупными фракциями отсева позволяет до 10–20 % снизить расход цемента при одновременном повышении прочностных и эксплуатационных характеристик бетона, что подтверждено результатами ее производственной апробации при изготовлении бетонных

и железобетонных (включая преднапряженные) изделий различного назначения.

Разработан эффективный вариант решения задачи по рациональному использованию ежегодно прирастающего на 3,0–3,5 млн тонн отхода производства гранитного щебня на РУПП «Гранит» в виде гранитных отсеков, их переработка путем отсева на крупную (более 0,5 мм, используемую для обогащения песка) и мелкую фракцию (с использованием последней в производстве цемента в качестве минеральной добавки [9, 10]) позволяет обеспечить 100 % использование гранитных отсеков в строительном производстве.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лейбензон, Л. С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. – М. – Л.: Гостехиздат, 1947. – С. 11–73.

2. Аравин, В. И., Нумеров С. Н. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой среде. – М.: Гостехиздат, 1953. – С. 11–90.

3. Коллинз Р. Течения жидкостей через пористые материалы. – М.: Мир, 1964. – С. 68–104.

4. Цытович, Н. А. Механика грунтов. – М.: Госстройиздат, 1963. – С. 51–56, 145–156.

5. Ахвердов, И. Н. Основы физики бетона. – М.: Стройиздат, 1981. – С. 264–280.

6. Федорович, П. Л. Взаимосвязь водопоглощения и морозостойкости бетона с крупностью мелкого заполнителя / П. Л. Федорович, Э. И. Батяновский. // Современные проблемы внедрения европейских стандартов в области строительства. Международный научно-методический семинар. – Минск, 2013. – С. 194–202.

7. Федорович, П. Л. Эффективность использования технологических гранитных отсеков РУПП «гранит» в цементных бетонах/ П. Л. Федорович, А. В. Смоляков, А. А. Дрозд, Э. И. Батяновский // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров. Сборник научных статей XIX Международного научно-методического семинара – Брест, 2014. – С 195–202.

8. Федорович, П. Л. О технологии обогащения мелкого заполнителя для бетона/ П. Л. Федорович, Н. М. Голубев // Сборник научных трудов. Проблемы современного бетона и железобетона. БелНИИС – Минск, 2016. – С 290–306.

9. Батяновский, Э. И. Свойства цемента и цементного камня с минеральной добавкой в виде молотого гранитного отсева / Э. И. Батяновский, А. А. Дрозд, А. В. Смоляков // Строительная наука и техника. – 2009. – № 1 (22). – С. 73–79.

10. Смоляков, А. В. Технологический свойства бетонных смесей и прочность бетона с добавкой в виде молотого гранитного отсева / А. В. Смоляков, Э. И. Батяновский, А. А. Дрозд // Строительная наука и техника. – 2009. – № 2 (23). – С. 49–57.

УДК 691:620.179.1

## **ВЛИЯНИЕ ОКАЗЫВАЕМОЕ НА ФЕРРОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА АРМАТУРЫ ЕЕ ДИАМЕТРА И СОСТАВА**

*ЧИКУЛАЕВ Г. С., ЯКИМОВИЧ В. Д.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Железобетон – это строительный материал, широко применяемый при строительстве различных зданий и сооружений. Он получил широкое распространение благодаря тому, что является довольно прочным материалом, но со временем под воздействием внешней среды он разрушается. Так как железобетон состоит из бетона и арматуры, то повреждение конструкции из железобетона может быть связано с разрушением одного из этих составляющих. Возможно два варианта протекания процесса разрушения. Первый вариант когда в начале следует разрушение бетона, который выполняет защитные функции по отношению к арматуре расположенной внутри тела бетона. После разрушения защитного слоя бетона происходит разрушение арматуры и последующего разрушения всей конструкции. Второй вариант предполагает вначале разрушение арматуры, с последующим разрушением бетона. Причина разрушения бетона из-за арматуры основан на том что в процессе коррозии выделяется ржавчина, которая в 2–3 раза занимает больший объем чем первоначальная арматура [1, 3]. Данный процесс разрушения ржавчиной бетона является механическим. С ростом объема ржавчины, растет количество трещин на поверхности конструкций через