

Оценка качества тротуарной плитки на основе портландцемента, выпускаемой по технологии вибропрессования

И. И. Романенко, А. И. Фадин, И.Н. Петровнина

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Аннотация: Определены физико-механические свойства тротуарной плитки, выпускаемой по технологии вибропрессования. Предложены составы мелкозернистых бетонов с использованием кварцевых тонкомолотых песков и очень мелких песков. Полученные результаты подтвердили возможность и эффективность применения некондиционного мелкозернистого сырья местной сырьевой базы, обеспечивающие снижение себестоимости продукции.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, вибропрессование, сырьевая база, некондиционные пески, молотый песок, активная реологическая матрица.

Целью работы является оценка качества выпускаемой продукции Пензенского завода строительных материалов (ООО «ПЗСМ») и повышение ее эксплуатационных свойств за счет использования некондиционного сырья местной нерудной базы. Для достижения поставленной цели проведен контроль качества тротуарной плитки, состоящий из оценки внешнего вида тротуарной плитки, контроля прочности, плотности, водопоглощения, и кроме того, выполнены производственные испытания составов мелкозернистых бетонов на основе некондиционных сырьевых материалов.

В строительной индустрии технология вибропрессования широко используется для получения мелкогабаритной продукции на основе мелкозернистых бетонов. Основное направление использования полученных изделий – дорожное и жилищное строительство. Данная технология основана на использовании синергетического эффекта от одновременного действия вибрации и сжатия гранулометрического материала, обработанного вяжущим веществом, и дает возможность получить продукцию из жесткой бетонной смеси, сохраняющую заданную матрицей форму. В дальнейшем изделия поступают в камеру термовлажностной обработки, где выдерживается при температуре $+40\text{C}^0$ и влажности 90% 12 часов.

Минимальное содержание влаги в бетонной смеси позволяет получить изделия с высокими эксплуатационными свойствами (прочность, морозостойкость, истираемость, сопротивление действию химических веществ).

На предприятии ООО «ПЗСМ» выпускаются изделия широкого ассортимента для дорожно-строительной отрасли: бордюр дорожный БР100.30.15, бордюр магистральный БР100.30.18, бордюр тротуарный БР100.20.8, бордюр тротуарный цветной БР100.20.8; лоток дорожный прикромочный Б1-20.50.100, Б1-18.50.100, Б1-22.75.100, Б1-20.75.100; блок подпорный бетонный 400×220×150; тротуарная плитка «Брусчатка» 200×100×60 цветная, «Старый город» разноразмерная цветная, «Урбан» 200×100×60, «Новый город» разноразмерная, «Брусчатка» 200×100×80 цветная, «Брусчатка» 200×100×40 цветная, «Квадрат» 400×400×60, «Урбан» разноразмерная 80 мм (крупноформатная); газонная решетка «Эко» 596×396×100; блок стеновой бетонный цветной 390×188×190, блок стеновой керамзитобетонный 390×188×190.

Самым массовым изделием является тротуарная плитка, которая изготавливается на оборудовании компании «Гевит» методом полусухого вибропрессования. Для ее производства используется широкая местная сырьевая база: портландцемент ПТЦ М500 Д0 (ЦЕМ I 42.5Н) - «Азия Цемент» – город Никольск, Пензенской области; кварцевый песок – Александровское месторождение, а также привозной крупный заполнитель – щебень гранитный (уральские месторождения). В качестве модифицирующей добавки, для полусухого вибропрессования применится Murgasan BWA 16 компании ООО «Проматех», вода питьевая, городской трубопровод.

Свойства используемых материалов приведены в таблицах 1-5.

Таблица №1

Свойства используемого портландцемента
ПТЦ М500 Д0 (ЦЕМ I 42.5Н) - «Азия Цемент»

№ пп	Свойства	Единицы измерения	Показатель
1	Прочность при сжатии в возрасте 7 суток	МПа	39,32
2	Прочность при сжатии в возрасте 28 суток	МПа	54,7
3	Прочность при изгибе в возрасте 7 суток	МПа	7,4
4	Прочность при изгибе в возрасте 28 суток	МПа	8,8
5	Начало схватывания	мин	170
6	Конец схватывания	мин	235
7	Удельная поверхность (по Блейну)	м ² /кг	390
8	Тонкость помола, проход через сито № 008	%	2,3
9	Нормальная плотность цементного теста	%	27,25
10	Ложное схватывание		отсутствует
11	Равномерность изменения объема	мм	1
12	Содержание минеральной добавки	%	4,6
13	Содержание оксида серы (VI) SO	%	32,59

Таблица №2

Гранулометрический состав песка Александровского карьера
Пензенской области

Наименование остатка	Остатки, % по массе, на ситах						Модуль крупности, $M_{кр}$
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Частный, гр	–	1,7	26,2	220	1238	496	1,84
Частный a_i , %	–	0,03	0,52	11,00	61,90	24,80	
Полный A_i , %	–	0,03	0,56	11,56	73,46	98,26	

Таблица №3

Свойства гранитного щебня фр. 2,5-5мм марки 1200.
Карьероуправление –ОАО Павловскгранит

№ пп	Наименование показателя	Фактические показатели
1	Полные остатки на сите по массе, % d	98,9
	Тоже 0,5(d + D)	70,4
	Тоже D	8,8
	Тоже 1,25 D	0
2	Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы, %	9,0
3	Содержание глинистых и пылевидных частиц, %	нет
4	Содержание глины в виде комков, %	нет
5	Содержание зерен слабых пород, %	нет



6	Марка щебня по прочности	1200
7	Морозостойкость, $M_{рз}$	300
8	Насыпная плотность, t/m^3	1,32
9	Марка щебня по истираемости	И-1

Таблица №4

Свойства гранитного щебня фр. 5 – 10 мм марки 1200

Карьероуправление –ОАО Павловскгранит

№ пп	Наименование показателя	Фактические показатели
1	Полные остатки на сите по массе, % d	94,3
	Тоже 0,5(d + D)	58,4
	Тоже D	9,3
	Тоже 1,25 D	0
2	Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы, %	14,5
3	Содержание глинистых и пылевидных частиц, %	нет
4	Содержание глины в виде комков, %	нет
5	Содержание зерен слабых пород, %	нет
6	Марка щебня по прочности	1200
7	Морозостойкость, $M_{рз}$	300
8	Насыпная плотность, t/m^3	1,29
9	Марка щебня по истираемости	И-1

Таблица №5

Характеристики модифицирующей добавки Murasan BWA 16

№ пп	Характеристика продукта	Единицы измерений	Показатель
1	Вид поставки	–	Жидкий
2	Плотность	кг/дм ³	1,0005-1,015
3	Дозировка от массы цемента	%	0,1-0,5
4	Название добавки	–	Murasan BWA 16 (Мурасан БВА 16)
5	Назначение	–	Для изготовления бетонов с жесткостью менее Ж1
6	Цвет	–	голубой
7	Сертифицировано	–	ГОСТ 24211, ГОСТ 30456 ТУ 5745-009-51552155-2005
8	Транспортирование и хранение ГОСТ 24211 при температурах	–	не ниже +5 °С и не выше +40 °С в герметично закрытой таре
9	Срок хранения	–	1 год со дня изготовления

Для производственных составов тротуарной плитки щебень фракций 2,5-5 мм и 5-10 мм смешивается в пропорциях 1:2. Расход материалов на 1 м³ бетонной смеси (производственная дозировка) составляет:

- портландцемент – 420 кг/м³;
- песок – 1200 кг/м³;
- щебень – 550 кг/м³;
- модифицирующая добавка Murasan BWA 16 (0,5%) – 10,0 л/м³;
- вода питьевая, водопроводная – 100 л/м³.

Формовочная плотность бетонной смеси-2280 кг/м³, пустотность – 8-10%.

По данным ряда исследований [1-2] свойства вибропрессовых изделий определяются не только качеством используемых материалов, но техническими параметрами технологического процесса[3-4], а именно: усилием прессования (подпрессовыванием), частотой вибрационного воздействия, амплитудой колебания стола, массой формуемого модуля со смесью

Для оценки качества плитки в течении шести месяцев проводились отборы проб тротуарной плитки по методу случайного выбора как с поверхности упаковки, так и из разных слоев. В качестве исследуемой продукции были выбраны следующие виды тротуарной плитки: «Урбан» марки ЭДД1.6 серый цвет, размером 200×100×60 мм; «Старый город» серый цвет, размером 173×115×60 мм; «Старый город» красный цвет, размером 173×115×60 мм. Свойства всей продукции, заявленные в техническом паспорте предприятия ООО «ПЗСМ» на тротуарную плитку, соответствуют ГОСТ 17608-2017.

В исследованиях использовалась методика в соответствии с действующими стандартами и нормативно-технической документацией:

- ГОСТ 10180-90 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам;
-

- ГОСТ 22690-88 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля;
- ГОСТ 12730.0-78 Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости;
- ГОСТ 12730.3-78 Бетоны. Метод определения водопоглощения.

Для определения прочностных свойств и водопоглощения отбирались образцы в количестве 44 штук; из них выбирались 7 плиток; затем отбраковывались две плитки по внешним признакам, в результате чего испытанию подвергались 5 образцов. Визуальным осмотром определялись ровность поверхности плиток, наличие раковин, трещин, однородность формовочной смеси, равномерность окраски, завал граней. Геометрические параметры образцов оценивали при помощи штангенциркуля [5, 6].

Получены следующие результаты испытаний:

1. Внешних дефектов у отобранных для исследований образцов тротуарной плитки марок «Урбан» марки ЭДД1.6 серый цвет, размером 200×100×60 мм; «Старый город» серый цвет, размером 173×115×60 мм; «Старый город» красный цвет, размером 173×115×60 мм не выявлено.
 2. Геометрические размеры плиток всех марок соответствуют заявленным размерам и допускам в техническом паспорте на данный вид изделий. Отклонения не превышают ±1 мм.
 3. Поверхность плиток не имеет трещин, сколов, высолов, цветовых пятен, шероховатостей.
 4. Категория лицевой поверхности соответствует – А6.
 5. Внешние параметры и категория лицевой поверхности исследуемой плитки («Урбан» марки ЭДД1.6 серый цвет; «Старый город» серый цвет; «Старый город» красный цвет) полностью соответствует заявленным параметрам.
-

Прочностные показатели и водопоглощение определялись на кубиках размером $60 \times 60 \times 60$ мм, выпиленных из отобранных плиток. Отклонения граней и поверхности от прямолинейности не превышают 0,1 мм.

Некоторые исследователи учитывали усилия прессования плитки в зависимости от расположения на столе пресса [7,8]. В исследованиях выявлено, что плотность плиток отличается друг от друга на 5-10%.

Произведен контроль прочности плитки в зависимости от ее расположения при формовке на матрице пресса. Схема отбора проб плитки с матрицы пресса представлена на рис. 1.

1 $R_{сж} = 35,7$			2 $R_{сж} = 36,1$
	3 $R_{сж} = 28,9$	4 $R_{сж} = 30,3$	
5 $R_{сж} = 30,6$			6 $R_{сж} = 31,2$

Рис. 1. Схема отбора проб плитки с матрицы пресса и результаты прочностных испытаний на сжатие

Подготовка плитки к определению прочности на сжатие производилась в следующем порядке:

1. сушка образцов тротуарной плитки в сушильном шкафу при температуре 105°C до постоянного веса;
2. разметка кубиков для выпиливания на станке размерами $60 \times 60 \times 60$ мм;

3. выпиливание алмазными дисками на отрезном станке по камню DIAM SK-6002.2 кубиков заданных размеров с водным охлаждением;

4. сушка до постоянного веса; образцы выдерживаются сутки в камере нормального твердения при температуре $20 \pm 5 \text{ C}^0$ и влажности 90%.

В дальнейшем проводили испытания плитки на прочность на гидравлическом прессе с системой автоматического контроля скорости нагружения и фиксации результатов испытания.

Определение прочности бетона заключается в измерении минимального разрушающего усилия, развиваемого гидравлическим прессом при постоянной скорости нагружения контрольных образцов бетона.

Водопоглощение определялось по ГОСТ 12730.3-78 исходя из учета поглощенной воды в процентах от первоначальной массы сухого образца за время экспозиции.

Результаты испытаний образцов тротуарной плитки «Урбан» - серый цвет на прочность при сжатии и водопоглощение представлены в таблице 6.

Таблица № 6

Маркировка	Цвет	Размер, $a \times b \times h$, мм	Плотность, кг/м^3	Предел прочности на сжатие, МПа	Средняя прочность, МПа	Водопоглощение, W, %
1; Урбан	Серый	60×60×60	2258	37,6	34,42	3,40
2; Урбан		60×60×60	2210	37,4		3,38
3; Урбан		60×60×60	2234	29,1		3,42
4; Урбан		60×60×60	2305	30,0		3,43
5; Урбан		60×60×60	2386	34,8		3,49
6; Урбан		60×60×60	2310	32,3		3,45

Результаты испытаний образцов тротуарной плитки «Старый город» - серый цвет на прочность при сжатии и водопоглощение представлены в таблице 7.

Таблица №7

Маркировка	Цвет	Размер, $a \times b \times h$, мм	Плотность, кг/м^3	Предел прочности на сжатие, МПа	Средняя прочность, МПа	Водопоглощение, W , %
1; Ст-город	Серый	60×60×60	2285	34,5	33,8	3,30
2; Ст-город		60×60×60	2272	33,6		3,46
3; Ст-город		60×60×60	2263	33,1		3,91
4; Ст-город		60×60×60	2275	33,0		3,43
5; Ст-город		60×60×60	2268	33,8		3,69
6; Ст-город		60×60×60	2288	34,0		3,25

Результаты испытаний образцов тротуарной плитки «Старый город» - красный цвет на прочность при сжатии и водопоглощение представлены в таблице 8.

Таблица №8

Маркировка	Цвет	Размер, $a \times b \times h$, мм	Плотность, кг/м^3	Предел прочности на сжатие, МПа	Средняя прочность, МПа	Водопоглощение, W , %
1; Ст-город	Красный	60×60×60	2281	34,8	35,32	3,56
2; Ст-город		60×60×60	2276	34,6		3,65
3; Ст-город		60×60×60	2247	32,1		4,05
4; Ст-город		60×60×60	2301	34,6		3,42
5; Ст-город		60×60×60	2288	36,9		3,51
6; Ст-город		60×60×60	2318	35,7		3,44

Анализ экспериментальных данных, полученных при испытании тротуарной плитки «Урбан» и «Старый город», позволяет сделать следующие заключения:

1. Предел прочности бетона при испытании на сжатие варьируется от 33,8 до 35,32 МПа, что, соответствуют требованиям технического паспорта и ГОСТ 17608-2017;

2. Водопоглощение всех исследуемых партий тротуарной плитки составляет 2,25- 4,05%, что соответствует требованиям ГОСТ12730.3-78. Бетон. Методы водопоглощения.

Отсутствие в Пензенской области высококачественной сырьевой базы нерудного происхождения вызывает необходимость проведения исследований, направленных на использование некондиционного сырья и побочных продуктов различных производств. Авторами работы разработана технология по использованию молотого кварцевого песка Александровского карьера, пласт № 3 Пензенской области в производстве вибропрессовой тротуарной плитки. Грансостав исходного материала-песка представлен в таблице 9. В предлагаемой технологии реализовывалась концепция формирования плотной структуры бетонной смеси на основе подбора оптимального количества цементного теста для заполнения пустотности и минимальной толщины клеевого состава на поверхности заполнителя. Толщина клеевого состава определяется модулем крупности кварцевого песка и удельной поверхностью тонкомолотого песка.

Таблица №9

Гранулометрический состав песка Александровского карьера,
пласт № 3 Пензенской области

Наименование остатка	Остатки, % по массе, на ситах						Модуль крупности, $M_{кр}$
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Частный, гр	0	3,65	0,75	3,15	309,15	678,9	1,33
Частный a_i , %	0,00	0,37	0,08	0,32	30,92	67,89	
Полный A_i , %		0,37	0,44	0,76	31,67	99,56	

Помол песка осуществлялся в шаровой мельнице до удельной поверхности $S_{уд} = 1800 \text{ см}^2/\text{г}$.

В качестве модифицирующей добавки бетонной смеси использовали «ХИДЕТАЛ-ГП-9γ» гиперпластификатор на основе эфиров поликарбоксилатов. Жидкость тёмно-коричневого, цвета сухой остаток

(С.О.) – 19,2 г/100 мл. Составы, предлагаемые для производственных испытаний, и результаты представлены в таблице 10.

Таблица №10

Физико-механические свойства мелкозернистого вибропрессового бетона

Наименование	Составы, расход кг/м ³							
	1		2		3		Произ-й состав	
	Расход, кг	Объем, л	Расход, кг	Объем, л	Расход, кг	Объем, л	Расход, кг	Объем, л
Портландцемент «Азия Цемент» ПТЦ 500 Д0	219	70,6	214	69	179	57,7	420	135,5
Молотый кварцевый песок, S _{уд.} = 1800 см ² /г	201	75,85	196	74	169	63,8	–	–
Песок кварцевый 0,16-0,63 мм	–	–	–	–	489	184,5	–	–
Песок Чаадаевский, M _{кр} = 1,84	–	–	–	–	–	–	1200	452,8
Песок Александровского карьера, M _{кр} = 1,33	1184	446,8	1240	467,9	530	200	–	–
Щебень гранитный фр 2,5-5 мм	649	246,77	543	206,5	845	321,3	550	211,5
ХИДЕТАЛ-ГП-9γ	7,6	7,6	7,44	7,77	6,2	6,2	–	–
Murasan BWA 16 (0,5%)	–	–	–	–	–	–	10,0	10,0
Вода	89	89	120,5	120,5	107	107	100	100
СУММА	2342	929,1	2314	938	2319	934	2280	907
Вес пробы для формовки кубика 100×100×100 мм	2300		2300		2319		–	
7 суток. Плотность, кг/м ³	2227		2220		2219		–	
7 суток. Прочность, МПа	34,58		32,21		24,03		–	
28 суток. Плотность.	2221		2216		2213		2275	
28 суток. Прочность, МПа	44,67		42,4		31,91		34,6	

Анализ полученных результатов испытания тротуарной плитки (табл. 10) показывает, что замена части песка на молотый и использование кварцевого песка с M_{кр}=1,33 позволяет при использовании модифицирующей химической добавки «ХИДЕТАЛ-ГП-9γ» на основе эфиров поликарбонилатов получить прочность, соответствующую классу В30 при

расходе портландцемента 214-219 кг/м³. Объем цементной пасты состава 1 (табл. 10) составляет 243 л, а производственного – 245 л. Объемы одинаковы, но расход портландцемента меньше. Объем растворной части в составе 1 (табл. 10) составляет 690 л, а производственного – 698 л.

Замена части портландцемента молотым кварцевым песком способствует увеличению порошковой фазы [9-10], в результате чего реологические свойства матрицы от действия модификатора структуры бетонов на основе эфиров поликарбоксилатов не меняются, так как объем цементных паст производственного и предлагаемого составов одинаковы [11]. Этим обеспечивается высокая плотность бетонов с минимальной пористостью, что обеспечивает высокие эксплуатационные свойства в различных агрессивных средах[12].

Снижение расхода портландцемента на 1 м³ составляет 47,86 % (в сравнении с производственным составом). Прочностные свойства тротуарной плитки на составах 1 и 2 (табл. 10) превышают свойства бетонов, изготавливаемых в производственных условиях.

При этом молотый кварцевый песок, являясь реакционно-активным материалом [10], взаимодействующим с известью портландцемента, что приводит к увеличению прочности и плотности упаковки. Удельный расход портландцемента на единицу прочности при сжатии в предлагаемом составе составляет 4,9 кг/МПа, что ниже значения производственного состава (12,4 кг/МПа) в 2,59 раза. Это подтверждает оптимальное использование вяжущего и специально подготовленных некондиционных мелкозернистых заполнителей. Такой подход к проектированию составов вибропрессовых бетонных изделий позволит снизить расход крупного заполнителя до 500-750 кг на 1 м³ бетонной смеси за счет широкого использования кварцевых песков с модулем крупности $M_{кр} = 1,12-1,33$.

Визуальный осмотр отформованных изделий показал хорошую формуемость смеси: отсутствуют обвалы граней и ребер, поверхность плиток однородная и гладкая, нет заливаний к поверхности пресса (рис. 2).



Рис. 2. Внешний осмотр тротуарной плитки («Урбан», состав № 1 табл. 10) после выхода из-под пресса

Полученные результаты исследований по оценке качества тротуарной плитки позволяют сделать следующие выводы:

1. Высокие эксплуатационные свойства продукции обеспечиваются наличием современного высокотехнологичного оборудования отечественного производства и собственной лаборатории по испытанию строительных материалов, а также подбором высококачественного сырья.

2. Причиной неодинаковой прочности тротуарной плитки на паллете при формировании изделий является недоуплотнение бетонной смеси под плитой пресса в различных точках формовки изделий. Рекомендуется отрегулировать положение рабочего стола пресса, амплитуду и частоту вибрации.

3. С целью экономии вяжущего и повышение эксплуатационных свойств тротуарной плитки рекомендуется использование составов бетонной смеси на основе тонкомолотых материалов и некондиционных песков местной сырьевой базы [10, 11].

4. Не все тонкомолотые минеральные вещества пригодны для широкого использования в комплексном вяжущем. Необходимо производить

проверку на реологические свойства матрицы вяжущего, состоящей из портландцемента и тонкомолотых компонентов[10,13].

4. Вибропрессовая тротуарная плитка «Урбан» и «Старый город», выпускаемая ООО «ПЗСМ», полностью соответствует требованиям технического паспорта на продукцию и ГОСТ 17608-2017.

Литература

1. Костиков Ю.Б. Влияние параметров покрытий из искусственных каменных мощений на прочность дорожной одежды: дис. ...техн. наук: 05.23.11. Санкт-Петербург 2005. 185 с.

2. Барабанщиков И.Г., Беляева С.В., Никольский С.Г. Материаловедение и технология строительных материалов. Оценка качества строительных материалов. Санкт-Петербург: Издательское дело Дом ГТУ, 2008. 125 с.

3. Дворкін Л. Й. Житковський ізація параметрів ущільнення вібропресованого дрібнозернистого бетону з використанням гранітного відсіву. Ресурсоекономні матеріали, конструкції будівлі та споруди. Зб. наук. праць. Вип.5. – Рівне: РДТУ, 2000. С. 9-17.

4. Auziņš J., Janušovskis A., Kovaļska A., Ozoliņš O. Experimental Identification and Optimization of the Concrete Block Vibropressing Process // JVE Journal of Vibroengineering. 2010. pp. 1-12.

5. Блехман И.И., Индейцев Д. Вибрационный контроль реологических свойств твердых тел // Вестник. Научно-технические достижения, М. 2008. 10 (6). С. 20-25.

6. Onževs O., Janušovskis A. Machine for vibro-impact-pressing of materials. Latvian Republic patent № 11601. 1997. and Latvian Republic Patent № 12477. 2000.

7. Львович К.И. Песчаный бетон и его применение в строительстве. СПб.: Строй-Бетон, 2007. 320 с.

8. Усачев С.М. Совершенствование технологии вибропрессованных бетонов путем оптимизации баланса внутренних и внешних сил: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Воронеж 2006. 210 с.

9. Косухин, М.М. Вибропрессованные бетоны с различными типами пластифицирующих добавок // Известия вузов. Строительство. 2007. № 6. С. 26-29.

10. Калашников В.И. Что такое порошково - активированный бетон нового поколения // Строительные материалы. 2012. № 6. С.1-2

11. Романенко И.И., Петровнина И.Н., Романенко М.И. Модифицирование вяжущего тонкомолотыми компонентами // Дневник науки, 2018, № 2 URL: dnevniknauki.ru/index.php/number2-2018/tekhnicheskije-nauki-2-2018.

12. Романенко И.И. Стойкость заполнителей в цементном камне в обеспечении долговечности сооружений // Региональная архитектура и строительство. 2019. № 2 (39). С. 32-39.

13. Курочка П.Н., Гаврилов А.В. Бетоны на комплексном вяжущем и мелком песке // Инженерный вестник Дона, 2013, № 1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/nly2013/1562.

References

1. Kostikov YU.B. Vliyanie parametrov pokrytij iz iskusstvennykh kamennykh moshcheniy na prochnost' dorozhnoy odezhdy [Influence of parameters of artificial stone paving coatings on the strength of road pavement]: dis. ...tekhn. nauk: 05.23.11. Sankt-Peterburg 2005. p. 185.

2. Barabanshchikov I.G., Belyaeva S.V., Nikol'skiy S.G. Materialovedenie i tekhnologiya stroitel'nykh materialov. Otsenka kachestva stroitel'nykh materialov [Materials science and technology of building materials. Assessment of the quality of construction materials]. Sankt-Peterburg: Izdatel'skoe delo Dom GTU, 2008. p. 125.

3. Dvorkin L.Y. Zhitkovs'kiy izatsiya parametriv ushchil'neniya vibropresovanogo drobnozernistogo betonu z vikoristannyam granitnogo vidsivu. Resursoekonomni materiali, konstruktsiï budivli ta sporudi [Zhitkovsky analysis of compaction parameters of vibropressed finegrained concrete using granite screenings. Resourcesaving materials, building structures and structures. ZB. sciences'. labours']. Zb. nauk. prats'. Vip.5. Rivne: RDTU, 2000. pp. 9-17.

4. Auziņš J., Januševskis A., Kovaļska A., Ozoliņš O. JVE Journal of Vibroengineering. 2010. pp. 1-12.

5. Blekhman I.I., Indeytsev D. Vestnik. Nauchno-tehnicheskie dostizheniya, M. 2008. 10 (6). pp. 20-25.

6. Onževs O., Januševskis A. Machine for vibro-impact-pressing of materials. Latvian Republic patent №.11601. 1997 and Latvian Republic Patent № 12477. 2000.

7. L'vovich K.I. Peschanyy beton i ego primenenie v stroitel'stve [Sand concrete and its use in construction]. SPb: Stroy-Beton, 2007. p. 320.

8. Usachev S.M. Sovershenstvovanie tekhnologii vibropressovannykh betonov putem optimizatsii balansa vnutrennikh i vneshnikh sil [Improving the technology of vibropressed concrete by optimizing the balance of internal and external forces]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. Voronezh 2006. p. 210.

9. Kosukhin, M.M. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. 2007. № 6. p. 26-29.

10. Kalashnikov V.I. Stroitel'nye materialy. 2012. № 6. pp. 1-2

11. Romanenko I.I., Petrovnina I.N., Romanenko M.I. Dnevnik nauki, 2018, № 2 URL: dnevniknauki.ru/index.php/number2-2018/tekhnicheskie-nauki-2-2018.

12. Romanenko I.I. Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo. 2019. № 2 (39). pp. 32-39.

13. Kurochka P.N., Gavrilov A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/nly2013/1562.
