

¹Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.,²Малюкова М.В., главный технолог,³Погорелова И.А., канд. техн. наук,¹Яковлева Е.А., студент,¹Гонта А.В., студент¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,²ООО «Завод АрБет»,³ООО «Строительные материалы и технологии»

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕВЕРСА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ГРАНУЛОМЕТРИИ ЗЕРНИСТЫХ КОМПОНЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ВИБРОПРЕССОВАНИЯ

ludmilasuleimanova@yandex.ru

С использованием метода реверса установлена взаимосвязь гранулометрии прерывистого типа зернистых компонентов с классом системы $3 \leq t \leq 6$ при вибропрессовании, что способствует созданию высокоплотной упаковки зерен заполнителя в составе смеси с крупной фракцией в сочетании со смесью фракций мелких заполнителей, и приводит к формированию структуры композита с полифункциональной матрицей в условиях вибропрессования за счет плотной пространственной укладки частиц, обеспечивая композиту повышенные эксплуатационные свойства.

Ключевые слова: метод реверса, гранулометрия, вибропрессование, упаковка зерен заполнителей

Для получения качественных строительных материалов, в том числе и изделий из вибропрессованных бетонов, необходимо получить такую структуру материала, которая бы отвечала заданным техническим требованиям. Одним из главных факторов обеспечения прочности и долговечности материалов и конструкций из них является плотная упаковка частиц заполнителя в бетоне. Формируя каркас бетона, заполнители активно влияют на его свойства, снижая усадочное напряжение, увеличивая модуль упругости и уменьшая ползучесть, влияя на плотность и другие физико-механические показатели бетона.

Гранулометрия характеризуется относительным содержанием зерен различной крупности, формой и степенью окатанности зерен и суммарной величиной их поверхности в единице объема или массы песка и щебня. От плотности упаковки смеси песка и щебня зависят многие технологические свойства бетона.

При строении системы «песок-щебень» для приведения ее к оптимальному соотношению, следует учитывать совокупность внешних признаков: размер и форму зерен, шероховатость и размещение их в пространстве относительно друг друга. Сумма факторов, характеризующих эту систему, может быть выражена одним понятием – пустотностью. В естественном песке и щебне, где присутствует различная форма зерен, фактические значения пустотности отличаются от теоретических значений.

Независимо от размера и формы зерен песка и щебня, по аналогии с моделями фиктивного грунта, различают рыхлую и плотную упаковку зерна. Рыхлая упаковка

может легко переходить в плотную упаковку под влиянием нагрузки и колебательных воздействий. При вибрации достигается наибольшее уплотнение сыпучих сред, при этом степень уплотнения не зависит от того, в сухом состоянии или насыщенном водой материал, а также приложена ли к нему нагрузка. Пустотность незначительно уменьшается при сжатии песка под давлением. Плотные упакованные зерна не реагируют на статическую нагрузку и вибрационное воздействие, так как в этом случае изменяется незначительно взаимное расположение зерен в пространстве [1].

Гранулометрический состав может быть улучшен двумя основными способами: смешиванием фракций или выбором эталонной кривой гранулометрического состава.

Многофракционный состав заполнителя обеспечивает более высокую плотность и прочность бетона, чем однофракционный заполнитель. При этом увеличение среднего размера наиболее крупной фракции способствует увеличению числа фракций заполнителя, плотности упаковки их зерен в смеси и прочности бетона. В связи с этим, отсутствие в многофракционном составе заполнителя промежуточной или наиболее мелкой его фракции оказывает различное влияние на прочность бетона: отсутствие мелкой фракции – понижает, а отсутствие промежуточной фракции заполнителя повышает прочность бетона, если мелкой фракции достаточно для заполнения свободного объема в слое заполнителя.

Для выбора оптимального зернового состава заполнителя предлагаются различные идеальные кривые просеивания. Поскольку

нельзя получить смесь одновременно с минимальным объемом пустот и наименьшей удельной поверхностью зерен, идеальная кривая подбирается из условия, чтобы пустотность смеси и суммарная поверхность зерен требовала минимального расхода цемента для получения заданной подвижности и прочности бетона.

В условиях производства, где используется реальный песок и щебень, подбираются такие идеальные кривые рассева, чтобы было возможно некоторое отклонение для регулирования свойств.

Принимая во внимание особенности производства вибропрессованных плит тротуарных, при подборе наиболее оптимального гранулометрического состава следует учитывать ряд особенностей:

- вибрационное воздействие позволяет значительно уменьшить пустотность смеси заполнителей;

- количество крупного и мелкого заполнителя в жестких бетонных смесях должно быть такое, чтобы создаваемый ими жесткий каркас позволял немедленную распалубку и технологические перемещения свежесформованных изделий;

- количество крупного заполнителя должно быть таким, чтобы была возможность уплотнить изделие до требуемой высоты.

Только с учетом состава бетона, в том числе, и с учетом содержания цемента и воды может быть сделан правильный выбор зернового состава заполнителя и соотношения между песком и щебнем.

Пустотность будет уменьшаться при заполнении пустот крупного заполнителя зернами мелкой фракции. Но, если зерна смешиваемых фракций не сильно отличаются по размеру, то размер мелких зерен окажется больше размера пустот между крупными зернами, и мелкие зерна, не заполнив пустоты, могут раздвинуть крупный заполнитель. В результате пустотность всей системы может не только уменьшиться, но даже и увеличиться. Для получения наиболее плотной смеси двух фракций необходимо, чтобы размер зерен одной фракции был приблизительно в 6,5 раз меньше размера зерен другой фракции.

Пустотность заполнителей колеблется от 20 до 50 %. Добавление к крупному заполнителю мелкого уменьшает его пустотность, но одновременно увеличивает удельную поверхность, поэтому окончательное влияние заполнителя на бетон лучше всего определять непосредственным испытанием заполнителя в бетоне.

Проанализировав теоретические способы расчета наиболее плотной упаковки заполнителей [2...5] и учитывая накопленный опыт производства, проведены

экспериментальные исследования заполнителей и плотности упаковки смеси фракций, а также определено влияние гранулометрического состава на физико-механические свойства вибропрессованных плит бетонных тротуарных.

Кривые просеивания кварцевых песков представлены на рис. 1.

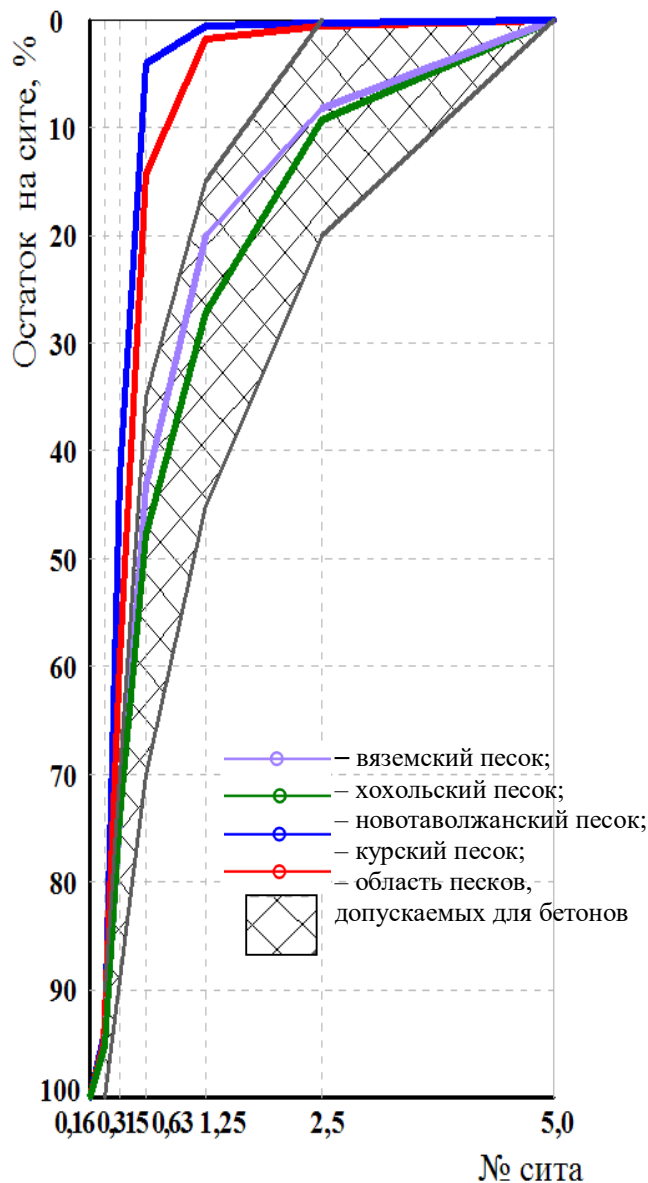


Рис. 1. Кривые просеивания кварцевых песков

В область допустимых значений (рис. 1) входит песок только Хохольского и Вяземского месторождений, однако, учитывая стоимостной показатель сырьевых материалов, экономически эффективно будет разработать такую смесь песков, кривая рассева которых будет входить в область допустимых значений.

Зерновые составы колмоевского щебня фракции 5...10 мм и кировоградского фракции 2...5 мм приведены в табл. 1, 2 и на рис. 2.

Таблица 1
Зерновой состав коломоевского щебня
фракции 5...10 мм

Размер сита, мм	Частные остатки, %	Полные остатки, %
12,5	2,4	2,4
10	10,8	13,2
7,5	12,4	25,6
5	71,4	97
< 5	3,0	–

Таблица 2
Зерновой состав кировоградского щебня
фракции 2...5 мм

Размер сита, мм	Частные остатки, %	Полные остатки, %
5	7,8	7,8
2,5	68,0	75,8
1,25	18,2	94,0
< 1,25	6,0	–

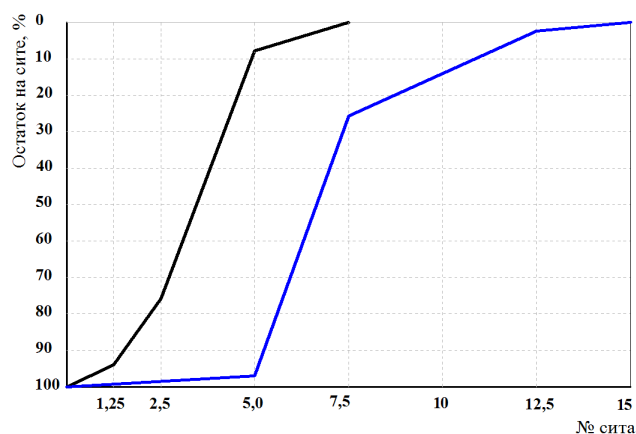


Рис. 2. Кривые просеивания щебня фракций 2...5 мм (—) и 5...10 мм (—)

Анализ полученных кривых просеивания кварцевых песков и гранитного щебня позволит разработать смесь заполнителей с оптимальной granulометрией.

Определение оптимального granulометрического состава мелкого и крупного заполнителей в бетонах предусматривает прежде всего обеспечение наибольшей плотности упаковки его частиц, требуемой удельной поверхности при необходимом числе фракций в полидисперсной смеси и заданной подвижности бетонной смеси. От плотности упаковки частиц заполнителя и их распределения по размерам зависят многие свойства бетонов. Во многих зарубежных странах (Англия, США, Япония и другие) для регулирования свойств бетонов применяется заполнитель, состоящий из 6...8 фракций и более. В этих странах для расчета granulометрического состава заполнителя с наибольшей плотностью упаковки его частиц

применяют метод Фурнаса [6], который основан на том, что мелкие фракции заданного интервала размеров частиц должны размещаться в пустотах между крупными, а суммарный объем не должен изменяться, что практически не реализуется в смесях с узким интервалом размеров частиц. При получении высокоплотных эффективных составов зернистых материалов из имеющегося местного сырья появляются серьезные затруднения, связанные с отсутствием надежных методов их определения. В связи с этим идет перерасход вяжущего, и не полностью используются прочностные возможности заполнителей в бетонах. С точки зрения повышения прочности бетонов подбор составов наиболее плотнейших смесей из крупного и мелкого заполнителей является главной задачей в технологии бетонов за счет создания плотного каркаса из зерен заполнителя при одновременном снижении расхода вяжущего. При этом в работу при сжатии бетона вовлекается определенная доля прочности плотного каркаса заполнителя, при отсутствии которого прочность бетона определяется прочностью цементного камня и прочностью его сцепления с поверхностью зерен.

Прочность при сжатии зависит в основном от качества цементного камня и его количества, идущего на покрытие тонким слоем поверхности и раздвижку зерен заполнителя, и, практически, не зависит от количества цементного камня, находящегося в его пустотах, поэтому рационально в пустоты между зернами крупного заполнителя вводить мелкий заполнитель [8...10].

Соотношение «цемент – песок» оказывает влияние на конечный цвет бетона, что связано с цветом самих компонентов бетонной смеси. Получение окрашенных бетонных изделий одного оттенка в пределах одного цвета возможно лишь при точном соблюдении рецептуры бетонной смеси. Следует исключить нарушения, связанные с дозированием сырья, с перемешиванием (соблюдение режимов перемешивания и последовательности смешивания материалов) и с соблюдением водоцементного отношения бетонной смеси.

В настоящее время все больше используется метод расчета различных зерновых составов с высокоплотной упаковкой частиц из общей закономерности распределения их по размерам [11].

Для получения высокоплотного состава заполнителей применяли метод реверса однородности распределения крупного и мелкого заполнителей бетона с учетом технологических параметров вибропрессования плит бетонных тротуарных. Реверс однородности определяли при таком соотношении мелкого и крупного

заполнителя, когда не наблюдалось расслоения смеси при ее уплотнении с амплитудой $A = 730$ мкм и частотой $\nu = 49,7$ Гц.

Расчет состава всей смеси производили в следующей последовательности:

1. Для оптимизации зернового состава двух фракций щебня 5...10 мм и 2...5 мм определяли средний размер зерен по формуле:

$$d_{icc} = (d_{max} \cdot d_{min})^{1/2},$$

где d_{max} , d_{min} – поперечные размеры зерен.

$$d_1 = (10 \cdot 5)^{1/2} = 7,07 \text{ мм (7,5 мм);}$$

$$d_2 = (5 \cdot 2,5)^{1/2} = 3,5 \text{ мм (3,75 мм);}$$

$$d_3 = (12,5 \cdot 10)^{1/2} = 11,2 \text{ мм.}$$

2. Плотность упаковки зерен щебня:

$$\eta_1 = \gamma_1/\rho = 1592/2640 = 0,6031;$$

$$\eta_2 = \gamma_2/\rho = 1340/2640 = 0,5921;$$

тогда пустотность равна: $\Pi_1 = (1 - \gamma_1/\rho) = 0,3969$;
 $\Pi_2 = (1 - \gamma_2/\rho) = 0,4079$.

3. Определяли средний размер зерен кварцевого песка в смеси:

$$d_{cp \text{ Вяз}} = (5 \cdot 2,5)^{1/2} \cdot 0,083 + (2,5 \cdot 1,25)^{1/2} \cdot 0,117 + \\ + (1,25 \cdot 0,63)^{1/2} \cdot 0,23 + (0,63 \cdot 0,315)^{1/2} \cdot 0,31 + \\ + (0,315 \cdot 0,16)^{1/2} \cdot 0,194 = 0,888 \text{ мм;}$$

$$d_{cp \text{ Кур}} = (5 \cdot 2,5)^{1/2} \cdot 0,006 + (2,5 \cdot 1,25)^{1/2} \cdot 0,012 + \\ + (1,25 \cdot 0,63)^{1/2} \cdot 0,125 + (0,63 \cdot 0,315)^{1/2} \cdot 0,45 + \\ + (0,315 \cdot 0,16)^{1/2} \cdot 0,357 = 0,6248 \text{ мм.}$$

4. Расход щебня фракции 2...5 мм на 100 мас. ч. фракции 5...10 мм при $\beta_2 = 1$:

$$\varphi_2 = 100(1 - \eta_1) \frac{\eta_2}{\eta_1} \beta_2,$$

$$\varphi_2 = 100(1 - 0,6031) \frac{0,5921}{0,6031} = 38,96 \text{ мас.ч.,}$$

$$\varphi_2 = \frac{38,96}{100 + 38,96} 100\% \leq 28\%,$$

$$\varphi_1 = 100 - 28,04 = 72\%.$$

5. Отношение средних размеров зерен кварцевого песка:

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{0,6248}{0,888} = 0,7036.$$

Тогда плотность упаковки зерен щебня в смеси согласно [12] равна

$$\sigma_2 = \eta_1 + (1 - \eta_1) \cdot \varepsilon_2^2 \cdot \eta_2^3 / \beta_2 = 0,6031 + \\ + 1(1 - 0,6031) \cdot (1 - 0,5921)^2 \cdot 0,5921^3 = 0,6168.$$

6. Плотность упаковки зерен кварцевого песка:

$$\eta_{1\text{Вяз}} = \gamma_1/\rho = 1828/2570 = 0,7113;$$

$$\eta_{2\text{Кур}} = \gamma_2/\rho = 1790/2540 = 0,7047;$$

тогда пустотность равна: $\Pi_{1\text{Вяз}} = (1 - \gamma_1/\rho) = 0,2887$;
 $\Pi_{2\text{Кур}} = (1 - \gamma_2/\rho) = 0,2953$.

7. Расход вяземского песка на 100 мас. ч. курского песка при $\beta_2 = 1$:

$$\varphi_2 = 100(1 - \eta_1) \frac{\eta_2}{\eta_1} \beta_2,$$

$$\varphi_2 = 100(1 - 0,7113) \frac{0,7047}{0,7113} = 28,6 \text{ мас.ч.,}$$

$$\varphi_2 = \frac{28,6}{100 + 28,6} 100\% \leq 22,23\%,$$

$$\varphi_1 = 100 - 22,23 = 77,77\%.$$

8. Плотность упаковки зерен в смеси, состоящей из вяземского и курского кварцевых песков равна

$$\sigma_2 = \eta_1 + (1 - \eta_1) \cdot \varepsilon_2^2 \cdot \eta_2^3 / \beta_2 = 0,7113 + \\ + 1(1 - 0,7113) \cdot (1 - 0,7047)^2 \cdot 0,7047^3 = 0,72.$$

$$9. \text{ При } \beta_2 = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{\eta_1}{\eta_2}$$

$$\varphi = 100(1 - 0,7113) = 28,87 \text{ мас.ч.}$$

Расход смеси песка на 100 мас. ч. щебня

$$\varphi_{1\text{песка}} = 100 \text{ м.ч. щебня} (1 - \sigma_{щ}) \frac{\sigma_{песка}}{\sigma_{щебня}} = \\ = 100(1 - 0,6168) \cdot \frac{0,72}{0,6168} = 44,7 \text{ мас.ч.,}$$

$$\varphi_{1\text{песка}} = \frac{44,7}{100 + 44,7} 100\% \leq 30,89\%,$$

$$\varphi_{2\text{песка}} = 100(1 - 0,6168) = 38,82 \text{ мас.ч.,}$$

$$\varphi_{2\text{песка}} = \frac{38,82}{100 + 38,82} 100\% \leq 27,7\%.$$

Истинная плотность курского и вяземского песков при соотношении 70 %:30 % составила:

$$\rho = 0,7 \cdot \rho_k + 0,3 \rho_v = \\ = 0,7 \cdot 2570 + 0,3 \cdot 2540 = 2560 \text{ кг/м}^3.$$

Истинная плотность смеси щебня соотношений фракций 2...5 мм и 5...10 мм:

$$1 - \gamma/\rho = 0,34,$$

отсюда $\rho = 1380/(1 - 0,34) = 2091 \text{ кг/м}^3$.

Внесена поправка для смеси, находящейся в поле гравитации при виброуплотнении в

расчет расхода песка, при $\beta_2 = \left(\frac{\eta_{щ}}{\eta_n} \right) \frac{\rho_n}{\rho_{щ}}$:

$$\varphi_{песка} = 100(1 - \eta_{щ}) \frac{\sigma_n}{\sigma_{щ}} \cdot \frac{\rho_n}{\rho_{щ}} = \\ = 100(1 - 0,6168) \frac{0,72}{0,6168} \cdot \frac{2560}{2091} = 54,8 \text{ мас.ч.}$$

Это выражение можно записать с учетом квадрата тяготеющих масс в виде:

$$\varphi_{песка} = 100(1 - \eta_{щ}) \cdot \left(\frac{\rho_n}{\rho_{щ}} \right)^2,$$

$$\text{тогда } \varphi_{max} = 100(1 - \eta_{щ}) \cdot \left(\frac{\rho_n}{\rho_{щ}} \right)^2 \cdot \left(\frac{\rho_n}{\rho_{щ}} \right)^{2-1}$$

где $n = 2$, как для щебня, так и для песка.

Расход песка на 1038 кг щебня:

на 100 мас. ч. – 54,8 мас. ч. песка

на 1038 кг – x_1 ;

$x_1 = 569$ кг.

Практический расход смеси кварцевых песков равен 920 кг. Для получения средней и повышенной жесткости смеси при формовании методом вибропрессования показатель $\left(\frac{\eta_n}{\eta_{цн}}\right)^{n-1}$, где n – количество фракций в смеси, щебня (2) и песка (2). Тогда расход смеси песка составляет:

$$\varphi_{песка} = \left(\frac{0,72}{0,6168}\right)^{4-1} \cdot 569 \text{ кг} = 904 \text{ кг} / \text{м}^3.$$

Отклонение $\Delta\varphi = \frac{920 - 904}{920} \cdot 100\% = 1,7\%$,

что допустимо.

Количество крупной и мелкой фракции находится на одинаковом уровне расхода, что подтверждено экспериментально.

Теоретическими расчетами и экспериментальными данными рассева в область допустимых значений попадают кривые отсева смеси курского и вяземского песков в соотношениях 10/90 и 20/80 (рис. 3).

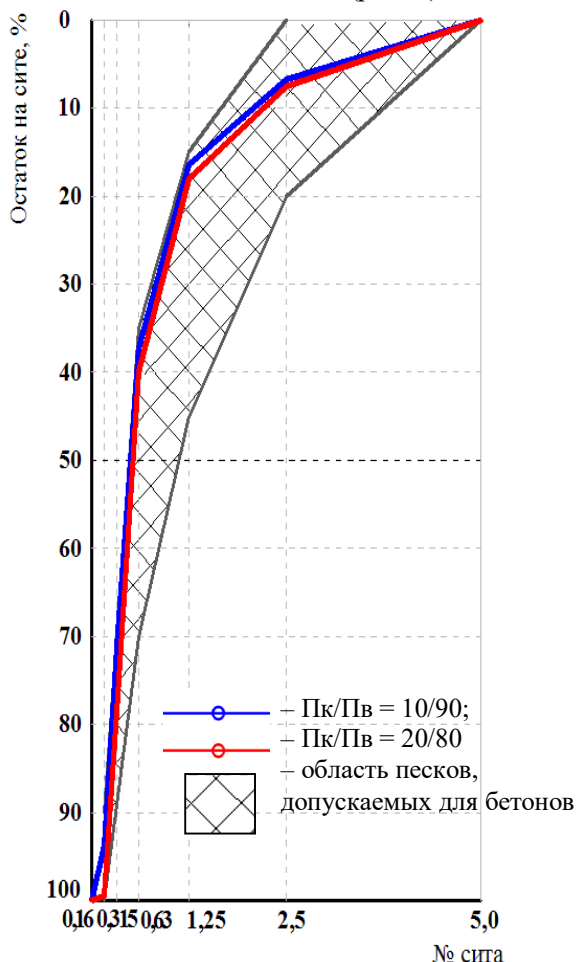


Рис. 3. Кривые просеивания смеси курского и вяземского песков

Экспериментальным путем определяли состав смеси кварцевых песков, пустотность которой будет минимальной (табл. 3, рис. 4).

Таблица 3

Показатели насыпной плотности и пустотности смеси кварцевых песков

Соотношение смеси вяземского и курского песков (Пк/Пв)	Насыпная плотность, кг/м ³	Пустотность, %
10/90	1535	34,3
20/80	1540	34,2
30/70	1547	33,7
40/60	1558	33,9
50/50	1543	34,1
60/40	1549	34,3
70/30	1551	34,2
20/80	1558	33,8
10/90	1540	34,3

Из табл. 3 и рис. 4. видно, что оптимальной по гранулометрическому составу и пустотности, является смесь курского и вяземского песков в соотношении Пк/Пв = 20/80.

Далее определяли такое соотношение щебня фракций 2...5 мм и 5...10 мм, при котором пустотность будет минимальной (табл. 4 и рис. 5).

Таблица 4

Показатели насыпной плотности и пустотности смеси фракций щебня

Соотношение в смеси щебня фракций 2...5 мм и 5...10 мм; Щ _{2...5} /Щ _{5...10}	Насыпная плотность, кг/м ³	Пустотность, %
10/90	1360	36
20/80	1370	35,5
30/70	1380	34
40/60	1365	34,3
50/50	1340	35
60/40	1342	34,7
70/30	1350	35,2
20/80	1347	36
10/90	1345	36,4

Из табл. 4 и рис. 4 видно, что оптимальным соотношением фракций щебня 2...5 мм и 5...10 мм будет соотношение Щ_{2...5}/Щ_{5...10} = 30/70.

Минимальная пустотность мелкого и крупного заполнителей, исходя из подобранных смесей песков и смесей щебня различных фракций, представлена на рис. 6.

Согласно рис. 6, оптимальным является соотношение Щебень/Песок = 53/47.

Полученные данные показывают, что применение скорректированного гранулометрического состава заполнителей позволяет получать не только более плотные упаковки, но и вибропрессованные бетоны более устойчивые к внешним воздействиям.

Для подтверждения эффективности полученного соотношения мелкого и крупного заполнителя на технологической линии в реальных производственных условиях были изготовлены образцы вибропрессованных плит тротуарных нескольких составов с соотношением мелкого и крупного заполнителей 47/53 (табл. 5).

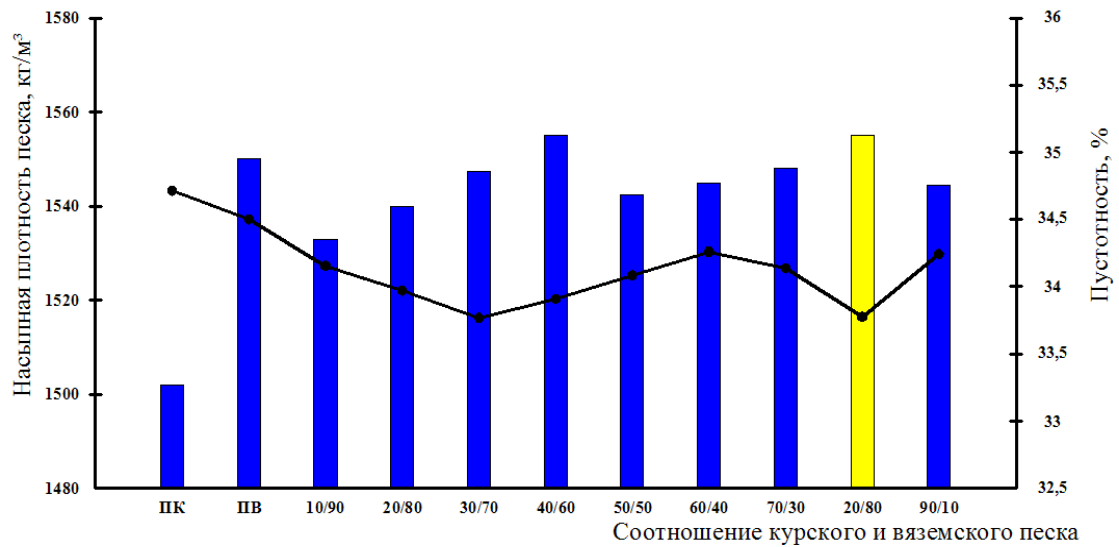


Рис. 4. Показатели насыпной плотности и пустотности смеси кварцевых песков:
■ – плотность; ● – пустотность; ■ – оптимум

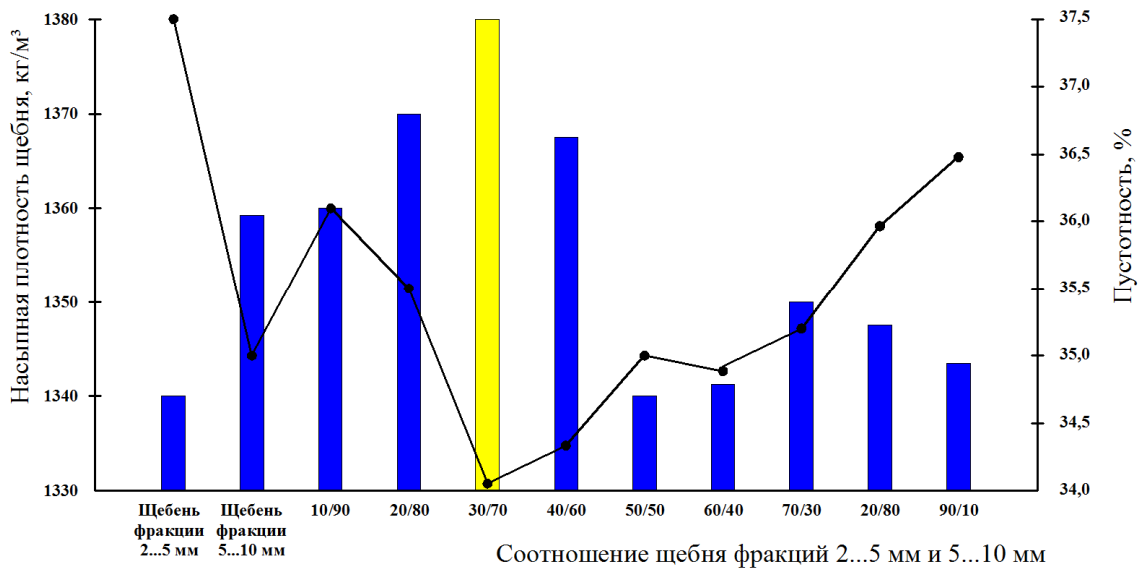


Рис. 5. Показатель насыпной плотности и пустотности смеси фракций щебня 2...5 мм и 5...10 мм:
■ – плотность; ● – пустотность; ■ – оптимум

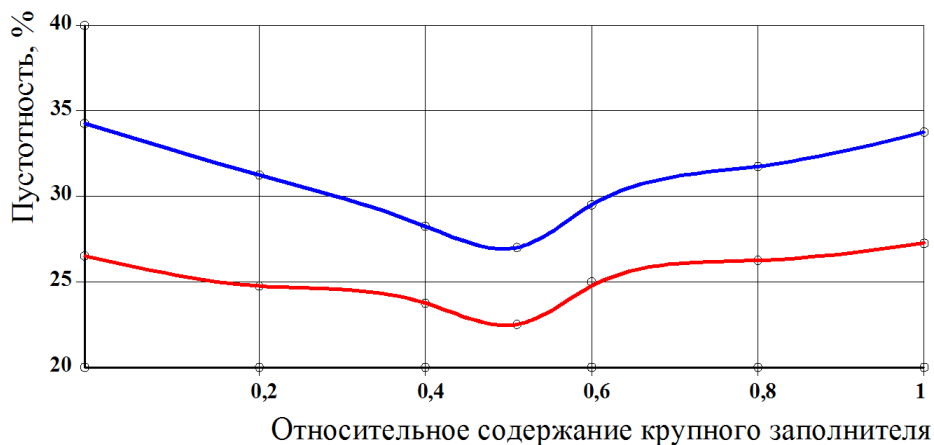


Рис. 6. Изменение пустотности смеси мелкого и крупного заполнителя:
— – свободноуложенная система; — – виброуплотненная система

Таблица 5

Составы бетона с различной гранулометрией заполнителя

№ состава	Расход материалов, кг/м ³					В/Ц
	ЦЕМ I 42,5Н	песок курский	песок вяземский	щебень фракции 2...5 мм	щебень фракции 5...10 мм	
1	380	176	706	299	697	0,38
2	380	882	–	995	–	
3	380	882	–	–	995	
4	380	–	882	995	–	
5	380	–	882	–	995	

За контрольный принят заводской состав бетона: портландцемент – 440 кг/м³, песок курский – 834 кг/м³, песок вяземский – 200 кг/м³; щебень фракции 2...5 мм – 100 кг/м³

и щебень фракции 5...10 мм – 650 кг/м³ с В/Ц = 0,42 и прочностью на сжатие 40 МПа.

Результаты проведенного эксперимента приведены в табл. 6, 7 и на рис. 7.

Таблица 6

Свойства свежетоформованных плит бетонных тротуарных

№ состава	Коэффициент уплотнения бетонной смеси, K _y	Прочность на сжатие свежетоформованного образца R _{сж} , МПа	Плотность свежетоформованного образца ρ _с , кг/м ³
1	0,98	0,61	2360
2	0,95	0,375	2280
3	0,96	0,411	2295
4	0,96	0,4	2307
5	0,97	0,52	2320

Таблица 7

Свойства вибропрессованных плит тротуарных

№ состава	R _{сж} ¹ , МПа	R _{сж} ²⁸ , МПа	Водопоглощение, %
1	29,5	45,5	4,1
2	28,6	35,0	6,3
3	24,2	37,9	5,9
4	25,9	38,4	5,5
5	28,0	39,5	4,9

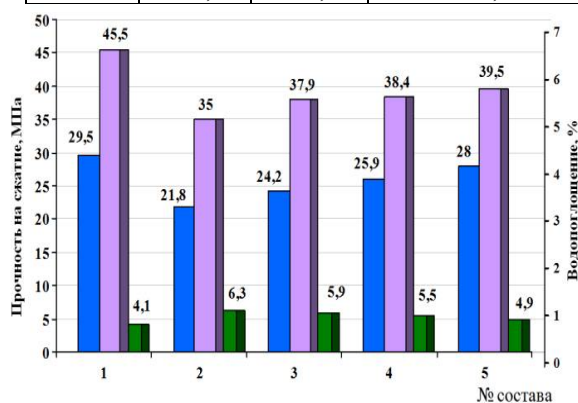


Рис. 7. Свойства вибропрессованных плит тротуарных: ■ – прочность на сжатие, R_{сж}¹; ■ – прочность на сжатие, R_{сж}²⁸; ■ – водопоглощение

Прочность на сжатие бетона вибропрессованных плит бетонных тротуарных с рациональной гранулометрией на 20 % выше, водопоглощение ниже на 20 %, чем у бетона других образцов, а коэффициент уплотнения повысился до 0,98 по сравнению с контрольными образцами (рис. 8). В отличие от

контрольных образцов с неравномерно распределенным заполнителем (рис. 8, а), в образцах с рациональной гранулометрией (рис. 8, б) наблюдается равномерное распределение заполнителя в матрице композита, что способствует повышению средней плотности, прочности на сжатие, морозостойкости и, в целом, долговечности, а также архитектурной выразительности облицовочного слоя [13...18].



Рис. 8. Образцы вибропрессованных плит тротуарных контрольного состава (а) и разработанного состава (б)

Таким образом, с использованием метода реверса установлена взаимосвязь гранулометрии прерывистого типа зернистых компонентов с классом системы $3 \leq m \leq 6$ при вибропрессовании, что способствует созданию высокоплотной упаковки зерен заполнителя в составе смеси с крупной фракцией в сочетании со смесью фракций мелких заполнителей, и приводит к форми-

рованию структуры композита с полифункциональной матрицей в условиях вибропрессования за счет плотной пространственной укладки частиц, обеспечивая композиту повышенные эксплуатационные свойства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берг О.Я. Высокопрочный бетон. М.: Стройиздат, 1971. 208 с.
2. Соколов В.Г., Соколов А.С., Денисов Ю.Н. и др. Прочностные характеристики пресованных бетонов оптимальной структуры // Строительные материалы. 1995. №8. С. 25-26.
3. Шмитько Е.И., Черкасов С.В. Управление плотностью пресованных материалов путем рационального использования потенциала поверхностных и капиллярных сил // Строительные материалы. 1993. №8. С. 26-29.
4. Медведев, Н.Н. Трехмерная упаковка как модель для плотных зернистых систем // ДАН РФ. 1994. Т. 337. С. 767-769.
5. Anishchik S.V. Three-dimensional Apollonian packing as a model for dense granular systems / S.V. Anishchik, N.N. Medvedev // Phys. Rev. Lett. 1995. V. 75. № 23. P. 4314-4317.
6. Наполнители для полимерных композиционных материалов (Справочное пособие) М.: Химия, 1981. С.27-34
7. Гладышев Б.М. Механическое взаимодействие элементов структуры и прочность бетонов. Харьков: Вища школа, 1987. 168 с.
8. Алфимова Н.И., Строкова В.В., Наваретте В.Ф.А. Мелкозернистые бетоны на основе вулканического сырья. Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2014.
9. Шейченко М.С., Алфимова Н.И., Попов М.А., Калатози В.В. Мелкоштучные изделия на основе композиционных вяжущих с использованием отходов ковдорского месторождения // В сборнике: Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения) Материалы Международной научно-практической конференции. 2013. С. 302-305.
10. Строкова В.В., Алфимова Н.И., Наваретте велос Ф.А., Шейченко М.С. Перспективы использования вулканического песка экватора для производства мелкозернистых бетонов // Строительные материалы. 2009. № 2. С. 32-33.
11. Хархардин А.Н. Структурно-топологические основы разработки эффективных композиционных материалов и изделий: дис.... д-ра техн. наук: 05.23.05. Белгород, 1999.
12. Хархардин А.Н., Строкова В.В. Структурная топология дисперсных систем. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2007. 131 с.
13. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Малюкова М.В. Высокоплотные составы вибропресованных бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 48–50.
14. Сулейманова Л.А., Малюкова М.В. Повышение качества мелкоштучных изделий за счет равномерного заполнения формы жесткой смесью // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 3. С. 56-60.
15. Сулейманова Л.А., Малюкова М.В. Вибропресованные плиты бетонные тротуарные с полифункциональной матрицей. Белгород: КОНСТАНТА, 2014. 144 с.
16. Сулейманова Л.А., Гридчин А.М., Малюкова М.В., Морозова Т.В. Повышение архитектурной выразительности плит бетонных тротуарных // В сборнике: Научно-технические инновации Юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). 2014. С. 347-353.
17. Сулейманова Л.А., Кара К.А., Малюкова М.В., Ядыкина В.В. Наномасштабная структурная организация полифункциональной матрицы плит бетонных тротуарных // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 2. С. 41-44.
18. Сулейманова Л.А., Агеева М.С., Малюкова М.В., Анучкин Я.А., Шураков И.М. Оптимизация параметров вибропрессования плит бетонных тротуарных // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 1. С. 56-60.

Suleymanova L.A., Malyukova M.V., Pogorelova I.A., Yakovleva E.A., Gonta A.V. APPLICATION THE METHOD OF REVERSE IN OPTIMIZING GRANULOMETRY GRAINY COMPONENTS UNDER THE CONDITIONS OF VIBROPRESSING

Using the method of reverse installed the interrelation between granulometry intermittent type grainy components of the class $3 \leq m \leq 6$ in the vibropressing that foster the building the high-density packing aggregate grains in the mixture with a large fraction aggregates in combination with a mixture of fractions of small aggregates, and leads to formation of structures composite with polyfunctional matrix in a vibropressing at the expense of dense spatial packing of the particles, providing higher performance properties of the composite.

Key words: *method of reverse, granulometry, vibropressing, packaging grain of aggregates.*