

¹Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.,¹Кара К.А., канд. техн. наук, ст. препод.,²Малюкова М.В., начальник участка,¹Ядыкина В.В., д-р техн. наук, проф.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²ООО «БЗ АрБет»

НАНОМАСШТАБНАЯ СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МАТРИЦЫ ПЛИТ БЕТОННЫХ ТРОТУАРНЫХ

ludmilasuleimanova@yandex.ru

Представлено комплексное влияние параметров вибропрессования на макро-, микро- и наномасштабную структурную организацию полифункциональной матрицы плит бетонных тротуарных. С использованием математического аппарата установлены оптимальные значения продолжительности основной вибрации, величины прессующего давления и момента приложения прессующего давления от начала вибрации и их влияние на эксплуатационные свойства плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей.

Ключевые слова: параметры вибропрессования, плиты бетонные тротуарные, полифункциональная матрица

В настоящее время широкое распространение получили плиты бетонные тротуарные, изготовленные методом полусухого вибропрессования, промышленное изготовление которых организовано на автоматизированных производственных линиях.

Высокие конструктивные, эксплуатационные и декоративные качества, ремонтная пригодность в сочетании с экологической безопасностью делают плиты бетонные тротуарные лучшим вариантом благоустройства территорий с высокими темпами строительства и с эстетическими преимуществами [1–7].

Однако, для того, чтобы готовая продукция на выходе полностью удовлетворяла всем предъявляемым к ней требованиям и характеристикам по прочности, плотности, морозостойкости и архитектурной выразительности, необходимо оптимизировать процесс производства на каждом технологическом этапе.

Основным технологическим этапом при производстве плит бетонных тротуарных является вибропрессование, заключающееся в укладывании в форму и равномерном уплотнении виброобработкой бетонной смеси, которая подвергается прессованию при давлении, обеспечивающем дальнейшее принудительное уплотнение в результате вытеснения или уменьшения в объеме вовлеченного воздуха и вытеснения несвязанной воды из бетонной смеси.

Явления, протекающие при вибропрессовании бетонной смеси описаны методами, представленными в вибрационной механике и виброреологии, основные положения которых изложены в трудах И.И. Блехмана [8], Б.Н. Урьева [9], Г.Ю. Джанелидзе, П.А. Ребиндера [10], И.Ф. Гончаревича [11] и др. Данные

исследования являлись основой для разработки эффективных режимов вибропрессования бетонных смесей и технологического оборудования для их реализации.

Методика исследования совместного применения интенсивного направленного вибрирования и дополнительного прессующего давления в процессе вибропрессования жестких бетонных смесей предусматривает выявление момента укладывания пригруза на поверхность обрабатываемой бетонной смеси и правильный выбор величины прессующего давления на формуемую бетонную смесь.

Основной задачей при подборе параметров вибропрессования является оптимизация совместного действия прессующего давления и параметров вибрационного воздействия.

При вибропрессовании жестких бетонных смесей должен быть обеспечен оптимум сил пригруза и вибрации, создающих с одной стороны условия для относительного вибрационного движения и переукладки составляющих, а с другой, обеспечивающих дополнительное прессующее давление, совпадающее с направлением действия сил тяжести [12].

Для оптимизации режима производства вибропрессованной плиты бетонной тротуарной использован математический аппарат, позволяющий провести комплексный анализ влияния исследуемых факторов (продолжительности основной вибрации, величины прессующего давления и момента приложения прессующего давления от начала вибрации) на выходные параметры (среднюю плотность и прочность на сжатие).

В качестве варьируемых независимых технологических факторов были назначены: продолжительность основной вибрации (X_1); величина прессующего давления (X_2) и момент

приложения прессующего давления от начала вибрации (X_3). В качестве контролируемых параметров были выбраны: средняя плотность

свежеотформованных изделий ($\rho_{св. изд}$) и прочность на сжатие плит ($R_{сж}$).

Выбранные технологические факторы были исследованы в пределах, указанных в табл. 1.

Таблица 1

Условия планирования эксперимента

Фактор	код. вид	Уровень варьирования			Интервал варьирования
		- 1	0	+1	
Продолжительность основной вибрации, с	X_1	2,0	2,4	2,8	0,4
Величина прессующего давления, МПа	X_2	0,1	0,15	0,2	0,05
Момент приложения прессующего давления от начала вибрации, с	X_3	0,4	0,6	0,8	0,2

Факторы, не вошедшие в план эксперимента, приняты постоянными.

Исследования проведены по трехуровневому плану [13], экспериментальные данные которого представлены в табл. 2.

Таблица 2

Матрица планирования и экспериментальные данные

№ п/п	Фактор			$\rho_{св. изд}, \text{кг/м}^3$	$R_{сж 28}, \text{МПа}$
	X_1	X_2	X_3		
1	+1	+1	+1	2300	54,5
2	+1	+1	-1	2315	55,6
3	+1	-1	+1	2290	53,6
4	+1	-1	-1	2280	50,4
5	-1	+1	+1	2285	49,6
6	-1	+1	-1	2274	45,7
7	-1	-1	+1	2265	43,5
8	-1	-1	-1	2260	42,3
9	+1	0	0	2340	57,4
10	-1	0	0	2300	54,7
11	0	+1	0	2280	49,6
12	0	-1	0	2310	55,0
13	0	0	+1	2330	56,5
14	0	0	-1	2370	62,0
15	0	0	0	2350	58,0
16	0	0	0	2345	58,0
17	0	0	0	2350	58,2

Для получения математических моделей, отражающих связь между выходными параметрами (средней плотностью и

прочностью на сжатие) и основными факторами (продолжительностью основной вибрации, величиной прессующего давления и моментом приложения прессующего давления от начала вибрации), была проведена статистическая обработка экспериментальных данных, рассчитаны коэффициенты уравнений регрессии для средней плотности и прочности на сжатие. Адекватность уравнений оценивалась по критерию Фишера

Получены математические модели средней плотности свежеотформованных изделий и прочности на сжатие в возрасте 28 сут вибропрессованных плит бетонных тротуарных от исследуемых факторов:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{— для средней плотности:} \\ \rho_{св. изд} = 2350 + 14,1 \cdot X_1 + 4,9 \cdot X_2 - 2,9 \cdot X_3 - \\ - 24,1 \cdot X_1^2 - 49,1 \cdot X_2^2 + 5,8 \cdot X_3^2 + 1,3 \cdot X_1 \cdot X_2 - \\ - 2,6 \cdot X_1 \cdot X_3 + 2,3 \cdot X_2 \cdot X_3, \\ \text{— для прочности на сжатие:} \\ R_{сж}^{28} = 58,6 + 3,5 \cdot X_1 + 1,02 \cdot X_2 + 0,17 \cdot X_3 - \\ - 2,8 \cdot X_1^2 - 6,6 \cdot X_2^2 + 0,3 \cdot X_3^2 - 0,4 \cdot X_1 \cdot X_2 - \\ - 0,3 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,2 \cdot X_2 \cdot X_3, \end{array} \right.$$

графическая интерпретация которых представлена на рисунке 1.

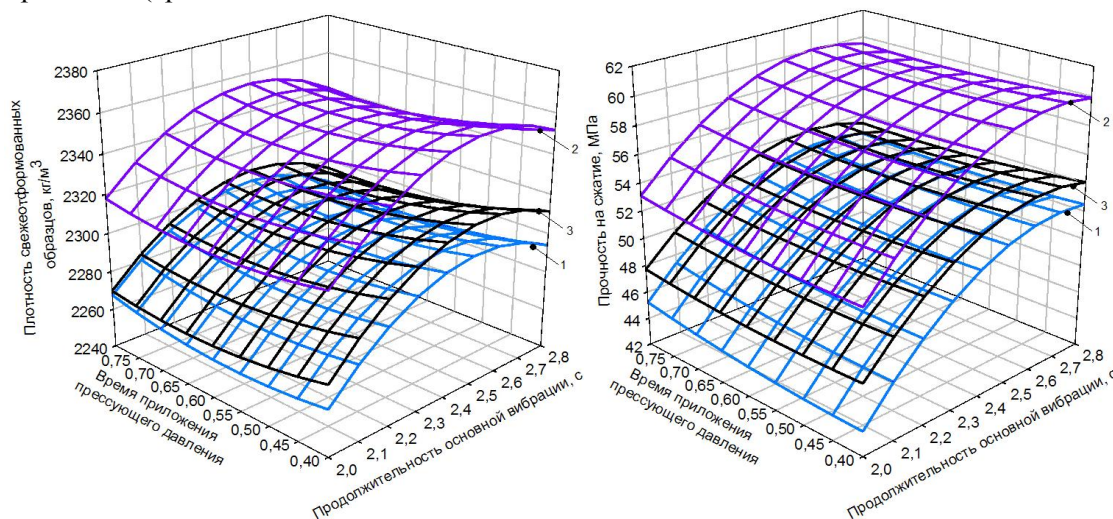


Рис. 1. Номограммы зависимостей средней плотности и прочности на сжатие вибропрессованных плит бетонных тротуарных от продолжительности основной вибрации, и момента приложения прессующего давления от начала вибрации при величине прессующего давления:

1 – 0,10 МПа; 2 – 0,15 МПа; 3 – 0,20 МПа

Адекватные уравнения регрессии позволяют прогнозировать прочность на сжатие плит бетонных тротуарных в зависимости от технологии изготовления. Предлагаемые уравнения позволяют также оценить эффект отдельных технологических переделов и определить оптимальные режимы и параметры. Оптимальные технологические параметры

вибропрессования в сочетании с рациональной гранулометрией заполнителя, модификатором и оптимальным водоцементным отношением позволяют получать вибропрессованные плиты бетонные тротуарные с полифункциональной матрицей за счет повышенных эксплуатационных и декоративных свойств (таблица 3).

Таблица 3

Оптимальные параметры вибропрессования плит бетонных тротуарных

Параметр	Значение
Предварительная вибрация	
Частота, Гц	45
Продолжительность, с	0,5
Возмущающая сила вибраторов, Н/кг	600
Основная вибрация	
Частота, Гц	47
Продолжительность, с	2,4
Возмущающая сила вибраторов, Н/кг	650
Прессующее давление пригруза (пуансона)	
Давление, МПа	0,15
Время приложения давления	на 0,4 с основной вибрации

Исследования на РЭМ полифункциональной матрицы вибропрессованных плит бетонных тротуарных, изготовленных по оптимальным параметрам вибропрессования, показали, что в полученных изделиях наблюдается плотное сцепление частицы заполнителя с новообразованиями цементного камня, что обусловлено оптимизацией гранулометрии заполнителей, состава жестких бетонных смесей и параметров вибропрессования (рис. 2, а, б).

Контрольные изделия достаточно плотные, но с наличием отслоения гидратированного цементного камня от поверхности заполнителя (рисунок 2, в, г). Так как гранит является гетероминеральной горной породой, то в рекомендуемых составах на контактной зоне кварца наблюдается прочный монолит, поверхность зерен полностью покрыта микро- и наноразмерными новообразованиями (рис. 3), в отличие от полевого шпата, где контактная зона менее плотная, с наличием пустот.

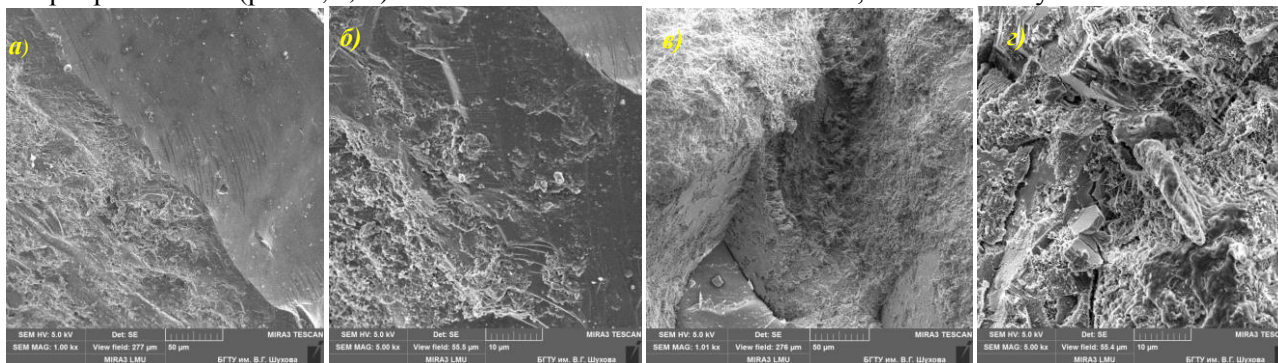


Рис. 2. Контактная зона заполнителя с цементным камнем бетона: а, б – разработанного состава; в, г – контрольного состава

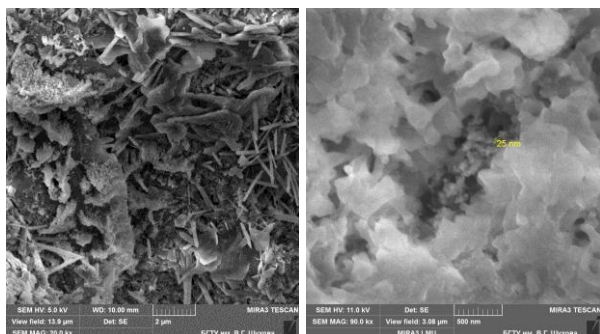


Рис. 3. Наноразмерные новообразования

Структура композита (рис. 3) – плотная, сложена новообразованиями различной морфологии поверхности. Весь массив пронизан иглообразными новообразованиями, более крупные частицы покрыты мельчайшими наноразмерными частичками округлой формы.

Рекомендуемые параметры вибропрессования позволили получить вибропрессованные плиты бетонные тротуарные с полифункциональной матрицей с повышенными эксплуатационными характеристиками. По

сравнению с контрольными изделиями прочность на сжатие увеличилась в 1,5 раза, морозостойкость – в 2 раза, водопоглощение

снизилось в 2,3 раза, истираемость – в 3 раза и, в целом, повысилась долговечность плит бетонных тротуарных (табл. 4).

Таблица 4

Характеристики вибропрессованных плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей

Показатель	Базовый показатель по ГОСТ 17608-91	Контрольный состав	Разработанный состав
Прочность при сжатии, 1 сут, МПа	–	25,0	37,6
Прочность при сжатии, 28 сут, МПа	В30 (40,0)	В30 (42,1)	В 45 (62,0)
Водопоглощение, %	не более 6	5,5	2,4
Морозостойкость, циклы	не менее 200	200	400
Истираемость, г/см ²	не более 0,7	0,6	0,21

Комплекс технологических приемов по повышению эксплуатационных характеристик и декоративных свойств вибропрессованной плиты бетонной тротуарной, включающий обеспечение стабильности свойств жестких бетонных смесей, равномерное заполнение формы бетонной смесью и оптимизацию параметров вибропрессования плит бетонных тротуарных, привел к снижению открытой пористости и формированию плотной однородной структуры полифункциональной матрицы композита.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Малюкова М.В. Высокоплотные составы вибропрессованных бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 48–50.

2. Сулейманова Л.А., Малюкова М.В. Высолы (выцветы) на поверхности бетонных изделий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. №3. С. 28–31.

3. 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.

4. Kharkhardin A.N., Suleymanova L.A., Kara K.A., Maluykova M.V., Kozhukhova N.I. The Determination of Topological Properties in Polydispersed Mixtures on the Results of Sieve Laser and Particle Size Analysis // World Applied Sciences Journal. 2013. № 25. Т.2. С. 347-353.

5. Сулейманова Л.А., Лесовик Р.В., Глаголев Е.С., Сопин Д.М. Высококачественные

бетоны на техногенном сырье для ответственных изделий и конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2008. № 4. С. 34-37.

6. Лесовик Р.В., Агеева М.С., Шакарна М.И.Х. Efficient Binding Using Composite Tuffs Of The // Middle East World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 24. №10. С. 1286-1290.

7. Шейченко М.С., Алфимова Н.И., Попов М.А., Калатоци 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.

8. Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю. Вибрационное перемещение. М.: Наука, 1964. 412 с.

9. Урьев, Н.Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов. М.: Химия, 1988. 255 с.

10. Ребиндер, П.Л. Физико-химическая механика. М.: Знание, 1958. 64 с.

11. Гончаревич И.Ф., Фролов К.В. Теория вибрационной техники и технологии. М.: Наука, 1981. 320 с.

12. 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.

13. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А. Компьютерное моделирование технологико-экономических задач. Белгород, 2009. 184 с.