

Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова

На правах рукописи



МАЛЮКОВА Марина Валерьевна

**ВИБРОПРЕССОВАННЫЕ ПЛИТЫ БЕТОННЫЕ ТРОТУАРНЫЕ
С ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МАТРИЦЕЙ**

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент

Сулейманова Людмила Александровна

Белгород – 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.....	8
1.1. Вибропрессованные бетоны и плиты тротуарные на их основе в современном строительстве.....	8
1.2. Модификаторы для вибропрессованных бетонов	14
1.3. Повышение долговечности вибропрессованных плит бетонных тротуарных	18
1.4. Повышение архитектурной выразительности вибропрессованных плит бетонных тротуарных.....	32
1.5. Выводы.....	37
2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	38
2.1. Методы исследования свойств сырьевых материалов и плит бетонных тротуарных.....	38
2.2. Характеристика применяемых материалов.....	44
2.3. Выводы.....	48
3. ЖЕСТКИЕ БЕТОННЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ВИБРОПРЕССОВАННЫХ ПЛИТ ТРОТУАРНЫХ.....	49
3.1. Гранулометрия заполнителей для вибропрессованных бетонов.....	50
3.2. Уплотнение состава крупного заполнителя смесью мелкого заполнителя.....	54
3.3. Оценка влияния модификаторов на свойства вибропрессованных бетонов.....	63
3.4. Составы и свойства вибропрессованных плит бетонных тротуарных....	74
3.5. Структура вибропрессованного бетона.....	78
3.6. Выводы.....	81
4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ВИБРОПРЕССОВАННЫХ ПЛИТ БЕТОННЫХ ТРОТУАРНЫХ С ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МАТРИЦЕЙ.....	82
4.1. Факторы, влияющие на качество изделий на технологических этапах.....	82

4.2. Обеспечение стабильности свойств жестких бетонных смесей.....	86
4.3. Равномерное заполнение формы бетонной смесью.....	89
4.4. Оптимизация параметров вибропрессования плит бетонных тротуарных.....	96
4.4.1. Подбор параметров вибропрессования.....	101
4.4.2. Комплексное влияние параметров вибропрессования на свойства плит бетонных тротуарных.....	106
4.5. Сохранение качества свежесформованных изделий при распалубке.....	116
4.6. Структура и свойства вибропрессованных плит бетонных тротуарных.....	118
4.7. Выводы	122
5. ПОВЫШЕНИЕ АРХИТЕКТУРНОЙ ВЫРАЗИТЕЛЬНОСТИ ВИБРОПРЕССОВАННЫХ ПЛИТ БЕТОННЫХ ТРОТУАРНЫХ.....	124
5.1. Факторы, влияющие на цвет вибропрессованных плит бетонных тротуарных.....	124
5.2. Способы предупреждения высолообразования.....	128
5.3 Современная технология окрашивания.....	136
5.4. Выводы.....	143
6. ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЛИТ БЕТОННЫХ ТРОТУАРНЫХ С ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МАТРИЦЕЙ.....	144
6.1. Опытные-промышленные испытания.....	144
6.2. Экономическая эффективность плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей.....	145
6.3. Выводы.....	149
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	151
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	155
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	171

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. 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.

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.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках программ стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова № Б-9/13 и Б-3/14 (2013...2014 гг.).

Целью работы является получение вибропрессованных плит бетонных тротуарных с улучшенной структурой и архитектурной выразительностью.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- разработка составов и изучение свойств вибропрессованных бетонов с рациональной гранулометрией заполнителя;
- оптимизация технологических параметров производства вибропрессованных плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей;
- разработка современной системы окрашивания, позволяющей получить облицовочный слой в многоцветном исполнении;
- разработка нормативных документов на производство и применение вибропрессованных плит бетонных тротуарных. Внедрение результатов исследований.

Научная новизна работы. Предложены принципы повышения эффективности производства плит бетонных тротуарных из вибропрессованных бетонов, заключающиеся в формировании полифункциональной структуры матрицы композита, создании плотных упаковок зерен заполнителя в вибропрессованном бетоне, что обеспечивает достижение улучшенной структуры, архитектурной выразительности и долговечности плит бетонных тротуарных.

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

Установлено, что в процессе твердения вибропрессованных бетонов с модификатором Murasan BWA 19 обеспечивается снижение открытой пористости и формирование плотного композита при рациональной гранулометрии зернистых компонентов, что в совокупности с разработанными режимами полусухого вибропрессования обуславливает повышение однородности структуры полифункциональной матрицы композита, прочности на сжатие в 1,5 раза, морозостойкости в 2 раза, снижение водопоглощения в 2,3, истираемости в 3 раза и, в целом, повышение долговечности плит бетонных тротуарных.

Получены адекватные уравнения регрессии зависимости средней плотности свежееотформованных изделий и прочности на сжатие плит бетонных тротуарных от технологических режимов и параметров вибропрессования, что позволяет оперативно управлять технологическим процессом.

Практическая значимость.

Разработаны составы и технологии бетонов для вибропрессованных плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей с классом по прочности на сжатие В45, водопоглощением W2,4 %, маркой по морозостойкости F400, истираемостью 0,21 г/см² с широким спектром их применения.

Разработаны мероприятия, обеспечивающие качество и сохранение стабильности свойств бетонных смесей, что способствует повышению эксплуатационных характеристик плит бетонных тротуарных.

Установлены факторы равномерного заполнения жесткой бетонной смесью всех ячеек формы и оптимальные параметры изготовления методом полусухого вибропрессования плит бетонных тротуарных, что значительно повышает их качество.

Разработана система окрашивания «colormix», позволяющая получать облицовочный слой с высоким уровнем механических свойств в многоцветном исполнении с обеспечением плавного перехода различных цветовых решений бетонных смесей, что позволяет получать вибропрессованные плиты бетонные тротуарные с более широкими функциональными возможностями при реализации архитектурно-строительных проектов.

Внедрение результатов исследования. Апробация полученных результатов в промышленных условиях осуществлялась на заводе ООО «Белгородский завод архитектурного бетона» Белгородской области. Выпущенные опытные партии плит тротуарных были применены в качестве элементов благоустройства дворовых территорий по ул. Левобережная, ул. Конева и ул. Корочанская в г. Белгород.

Для внедрения результатов научно-исследовательской работы разработаны нормативные и технические документы:

- технические условия ТУ 5746-001-62636323-2013 «Плиты бетонные тротуарные»;
- стандарт организации СТО 02066339-016-2014 «Плиты бетонные тротуарные вибропрессованные»;

– технологический регламент на производство плит бетонных тротуарных вибропрессованных на предприятии ООО «Белгородский завод архитектурного бетона» Белгородской области.

Теоретические положения и полученные результаты научно-исследовательской работы используются в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению 270800.68 «Строительство» и инженеров по специальности 270106 «Производство строительных материалов, изделий и конструкций».

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих Международных конференциях: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 160-летию со дня рождения В.Г. Шухова (Белгород, 2013); VI и VII Международные научно-практические конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и научно-практический прогресс» (Губкин, 2013, 2014); Международная научно-практическая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Юбилейная Международная научно-техническая конференция молодых ученых, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (Белгород, 2014).

Публикации. Результаты исследований, отражающие основные положения диссертационной работы, изложены в девяти научных публикациях, в том числе в четырех статьях, опубликованных в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Получен патент на изобретение № 2476312, опубл. 27.02.13.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов, списка литературы из 160 наименований и 7 приложений. Общий объем диссертации 207 страниц машинописного текста, включающих 77 рисунков, 42 таблицы, 37 страниц приложений.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1 Вибропрессованные бетоны и плиты тротуарные на их основе в современном строительстве

История применения метода вибропрессования началась с необходимости использования при производстве строительных материалов жестких бетонных смесей [1, 2]. В основном, в исследованиях, выполненных в последнее время, жесткие бетонные смеси применяются для получения высокопрочных и долговечных бетонов. С самого начала развития бетонных работ в России широко применяются жесткие бетонные смеси. Уплотнение таких смесей в сооружениях производилось ручным, а позднее и механическим трамбованием. Трамбованный бетон вошел в применение в 1860 г. [3].

Промышленное применение вибропрессования бетонных смесей было организовано в 1904 г. в США на немецкой фирме, начавшей выпускать стеновые блоки и плитку. Вибропрессованная плита тротуарная в Западной Европе применяется с 30-х годов XX века [4].

В 20-х и 30-х годах XX в. в строительстве, главным образом, использовались литые и подвижные бетонные смеси, на основе которых получали изделия любой конфигурации и размеров. С появлением вибрирования, которое дало возможность уплотнять менее подвижные бетонные смеси, начинается развитие и применение жестких бетонных смесей [2].

В России в 60-е годы XX в., когда основным направлением повышения эффективности технологии производства бетонных и железобетонных изделий становится применение жестких бетонных смесей, в дополнение к вибрированию, появляются новые способы формования – вибропрокат, вибротрамбование, вибровакуумирование, вибропрессование и др. (рисунок 1.1) [5].

Наиболее широкое распространение получило производство мелкоштучных бетонных изделий методом вибропрессования.



Рисунок 1.1. Способы уплотнения бетонной смеси

Вибропрессование – способ уплотнения бетонной смеси путем приложения к ней вибрационных нагрузок и статического давления. Давление на смесь обеспечивается с помощью инерционных и безинерционных устройств (пружинных, пневматических, гидравлических или комбинированных пригрузов) с возможностью (на современных машинах) циклического режима наложения давления и одновременного изменения величины этого давления.

Одним из основных достоинств вибропрессования является возможность немедленной распалубки свежесформованных изделий, что значительно увеличивает производительность оборудования и снижает металлоемкость производства. Применение жестких бетонных смесей значительно упрощает получение высокопрочных бетонных изделий, отличающихся повышенными характеристиками плотности, прочности и морозостойкости.

Наиболее эффективна технология вибропрессования в случае применения мелкозернистых бетонов с наибольшей крупностью зерен заполнителя 10 мм. Этим способом формуют жесткие смеси, используя давление в диапазоне 0,05...0,4 МПа. Путем повторяющегося кратковременного вибрирования достигается начальная прочность бетона при сжатии 0,15...0,45 МПа, что позволяет производить немедленную распалубку, что, в свою очередь, дает возможность увеличить коэффициент использования оборудования [6, 7].

Методом вибропрессования рекомендуется изготавливать различные бетонные и железобетонные изделия, имеющие плоскую открытую

поверхность толщиной от 4 до 50 см, например, плиты покрытия дорог, аэродромов, тротуаров и полов, каналов, лотки отвода дождевых вод, перегородки промышленных зданий, элементы подпорных стен, рельефные экраны лоджий, бортовой камень, стеновые камни и блоки, кирпичи, ограждения, элементы малых архитектурных форм и т.п.

Технология вибропрессования совмещает переналаживаемый и гибкий способы формования, так как при замене форм возможен выпуск широкой номенклатуры изделий. Вибропрессование объединяет в одном непрерывном процессе укладку, распределение и уплотнение смеси [6].

Вибропрессование используют для достижения прочности на сжатие и средней плотности бетона в затвердевшем состоянии, превышающих эти показатели традиционно уплотненного бетона (при одинаковых водоцементных отношениях бетонных смесей). А также, вибропрессование позволяет улучшить условия труда, уменьшить износ форм и снизить энергетические затраты на формование.

Бетон и изделия, полученные вибропрессованием, ввиду низкого водоцементного отношения, отличаются повышенной плотностью, прочностью и долговечностью.

В последние годы в России интенсивно развивается производство штучных бетонных изделий с использованием технологии объемного вибропрессования (рисунок 1.2).

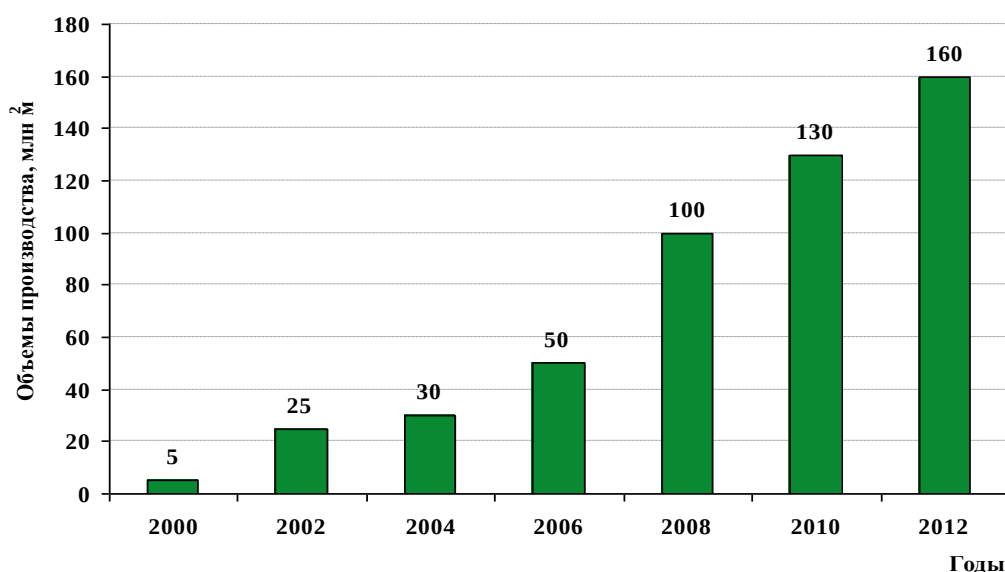


Рисунок 1.2. Рынок производства вибропрессованных плит бетонных тротуарных в РФ

Анализ практики строительства в Западной Европе и США показывает, что в общем балансе производства строительных материалов преобладает выпуск штучных неармированных бетонных изделий [8...16].

По многочисленным прогнозам объем жилищного строительства в нашей стране в ближайшие годы будет расти. Соответственно, будет расти потребность в строительных материалах. Все это дает основание прогнозировать необходимость быстрого наращивания мощностей стройиндустрии для обеспечения социальной программы жилищного строительства. Особую актуальность эта задача приобретает в сфере малоэтажного и индивидуального строительства. Повсеместно ожидается дефицит штучных строительных материалов.

Активное внедрение технологии вибропрессования в России началось после появления на рынке высококачественного оборудования из Западной Европы [17...22].

В связи с ростом интереса потребителей к бетонным изделиям, изготовленным по технологии вибропрессования, на российском рынке появилось множество предприятий по их производству. Эту технологию применяют, когда необходимо получить бетонные изделия в большом объеме, с точными, многократно повторяющимися размерами и высокими физико-механическими характеристиками. Последнее, в большей степени, относится к дорожным бетонам.

На сегодняшний день, линии по производству вибропрессованных изделий работают во многих регионах: Москва и Подмосковье, Тюмень, Екатеринбург, Курск, Воронеж, Краснодар, Белгород и т.д. Данная технология широко распространена в Украине и Белоруссии.

В России широко представлено оборудование для производства мелкоштучных изделий методом вибропрессования, как зарубежных, так и отечественных производителей. Немецкие линии «HESS», «HENKE» «BAUKEMA» активно завоевали значительный сегмент рынка. Польское оборудование представлено стационарными вибропрессами «HERKULES»,

чешское – прессами компании «ALTA» и широко представлено отечественное оборудование для вибропрессования Черкасского завода «Строммашина», Московского предприятия ОАО «Завод «Красная Пресня», завод «Стройтехника» Челябинская обл. г. Златоуст и др.

Изготовление изделий вибропрессованием возможно как на автоматических линиях, так и агрегатно-поточным способом. Выбор набора оборудования при организации производства или его модернизации зависит от номенклатуры изделий и возможности их производства вибропрессованием и обеспечения изделиям необходимого качества (рисунок 1.3).

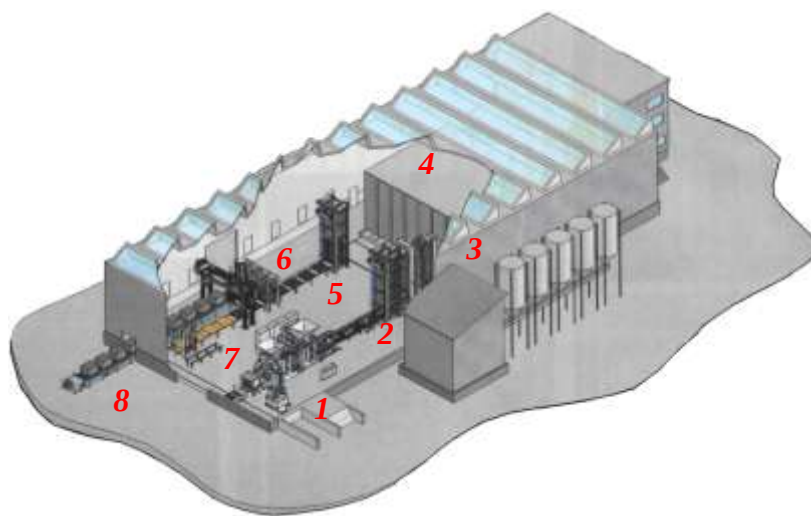


Рисунок 1.3. Типовая схема производства мелкоштучных изделий методом полусухого вибропрессования: 1 – бетоноформовочная машина; 2 – поднимающий штабелер; 3 – транспортно-складирующая группа; 4 – камеры набора прочности; 5 – опускающий штабелер; 6 – пакетирование продукции; 7 – возврат технологических поддонов; 8 – выдача готовой продукции на склад

В состав технологической линии, помимо вибропресса, входят механизмы перемещения поддонов, тележек, различные траверсы и приспособления для чистки и смазки форм и т.д.

Оборудование классифицируют по способу формования, характеру и направленности колебаний, соотношению вынуждающих и собственных частот колебаний, типу возбудителя и числу колеблющихся масс [6].

Наиболее распространенными и популярными вибропрессованными изделиями, на сегодняшний день, являются элементы мощения – тротуарные плиты, применяемые для устройства дорожек, тротуаров, детских площадок,

площадей, стоянок автомобилей и проезжих частей автомобильных дорог (рисунок 1.4).

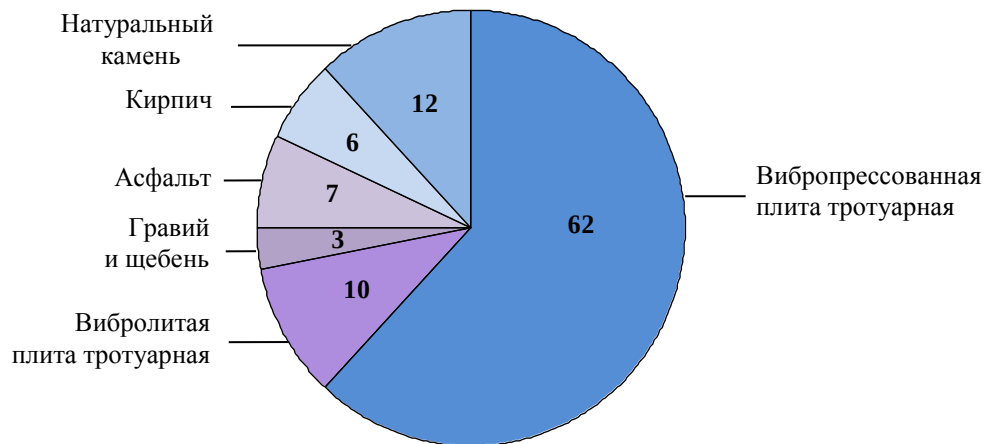


Рисунок 1.4. Рынок элементов мощения в Российской Федерации (в %)

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.

Накопленный опыт эксплуатации плит тротуарных показывает, что их качество зависит не только от показателей внешнего вида, но и от подготовки основания и тщательности укладки. Любые отступления приводят к получению непривлекательности покрытия, к снижению срока его эксплуатации из-за откалывания выступающих из плоскости элементов, растрескивания плохо подготовленного основания плиты, скапливания в углублениях воды и льда и притупления отдельных углов и граней [23].

Согласно [24] плиты тротуарные следует изготавливать со следующими техническими характеристиками: классы по прочности на сжатие: В22,5; В25; В30; В35; марки по морозостойкости F100, F150, F200, F300; водопоглощение не более 6 % для мелкозернистого бетона и не более 5 % для тяжелого бетона; истираемость (с учетом условий эксплуатации и в соответствии с требованиями ГОСТ) не более 0,7 г/см².

Тенденция применения плит бетонных тротуарных в местах с интенсивным движением автотранспорта в сочетании с агрессивным

воздействием антиобледенительных покрытий при попеременном замораживании и оттаивании приводит к тому, что эксплуатационные характеристики, указанные в нормативно-технической литературе [24], оказываются недостаточными.

1.2. Модификаторы для вибропрессованных бетонов

Традиционно, жесткие бетоны представляют собой трехкомпонентную систему из цемента, заполнителя и воды, при этом ни для подбора, ни для оптимизации состава жесткого бетона до сих пор не существует универсального типового регламента. В последнее время все больше наблюдается переход от трехкомпонентной системы к четырех-, пятикомпонентным системам с использованием модификаторов бетона (рисунок 1.5), микрозаполнителей и других компонентов, вводимых в незначительном объеме (десятых и сотых долях процента по отношению к массе цемента), но существенно влияющих на химические процессы твердения бетона, обеспечивающих улучшение физико-механических характеристик изделий, и в том числе прочности, морозостойкости, водопоглощения и т.д.

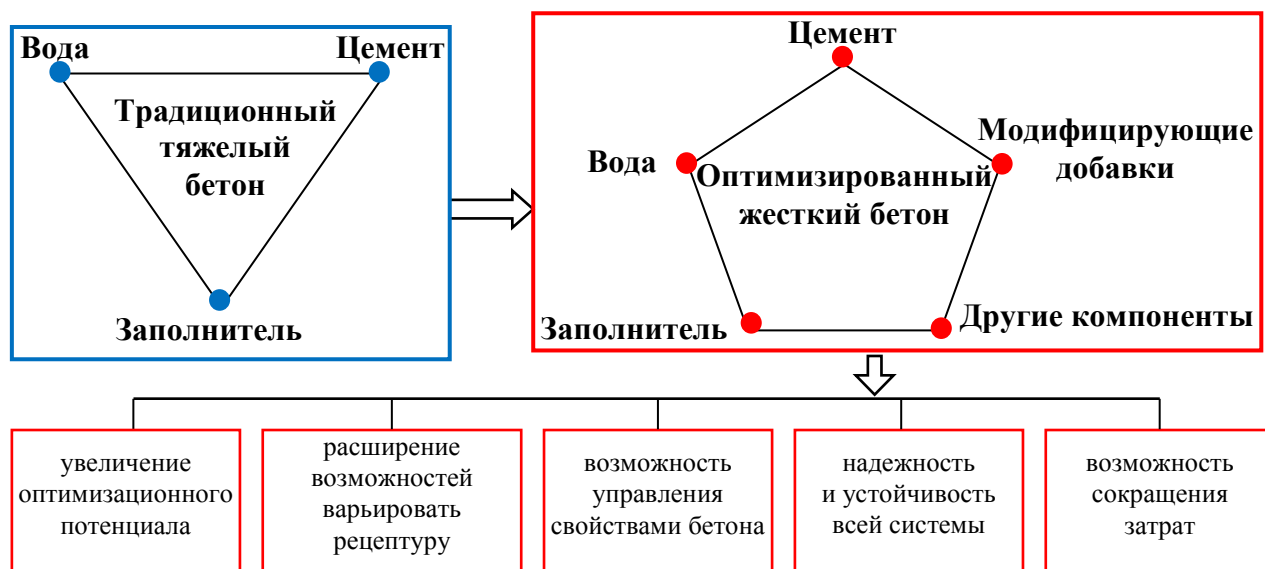


Рисунок 1.5. Переход от трех к пятикомпонентной системе при оптимизации жестких бетонов

Основываясь на современном представлении физико-химии поверхностных явлений и теории контактных взаимодействий, можно

предполагать, что введение добавок-модификаторов в цементные системы позволит улучшить свойства цементного теста, бетонной смеси и бетона.

Согласно определению В.Г. Батракова [25] модифицированным воздействием является такое воздействие, при котором существенно изменяется структура и свойства матрицы композита из-за введения определенных компонентов при практически неизменяющемся количестве остальных компонентов. Модификаторы в процессе гидратации существенно влияют не только на кинетику структурообразования цементного камня, но и на ряд качественных показателей структуры.

В качестве принципов классификации модификаторов могут быть выделены следующие:

- механизм действия на основные составляющие цемента;
- химический состав модификаторов;
- функциональные признаки (основной технологический эффект действия в цементных системах) [25, 26].

Пластификаторы и суперпластификаторы бетонных смесей давно и прочно завоевали большую часть рынка химических добавок для бетона. Основное назначение таких добавок – увеличение подвижности и снижение жесткости бетонной смеси, ее разжижение, что позволяет снизить затраты на укладку и уплотнение таких смесей. В научных работах [27, 28], обосновано применение добавок суперпластификаторов (С-3, СБ1 и др.) при производстве вибропрессованных изделий.

При выборе добавок для мелкозернистых бетонов с пониженным содержанием воды необходимо учитывать минералогический состав цементов, а добавки-ускорители схватывания и твердения в таких составах не следует применять из-за их деструктивного действия. Эффективной является добавка комплексного действия Релаксол С, повышающая прочность на сжатие [29].

Авторами [30] доказана эффективность разработанного резоцинформальдегидного суперпластификатора не только с точки зрения

пластифицирующей способности и физико-механических свойств бетона, позволяющих получать бетоны с прочностью свыше 60 МПа при содержании добавки в количестве 0,35 % по массе сухого вещества, но и с точки зрения фунгицидных свойств.

Наиболее перспективными направлениями модифицирования вибропрессованных бетонов являются комплексные полифункциональные добавки. Несмотря на более высокую стоимость, по сравнению с обычными суперпластификаторами, они позволяют значительно снизить расход цемента, снизить энергозатраты на укладку смесей и себестоимость. Применение комплексных модификаторов, состоящих из ингредиентов, которые позволили бы уменьшить или исключить отрицательное влияние отдельных компонентов и усилить их положительный эффект, является огромным шагом вперед в модификации бетонов [25, 31...34].

Комплексная добавка, состоящая из 1 % суперпластификатора С-3 и 12 % маршалита от массы цемента, позволила получить мелкозернистые бетоны большой подвижности и при расходе цемента 550 кг/м³ с прочностью выше 70 МПа [35].

Разработана комплексная микродисперсная добавка для производства эффективного мелкозернистого бетона, получаемая совместным помолом кварцевого песка, суперпластификатора С-3 и стеарата кальция, позволяющая получать изделия с прочностью на сжатие до 50 МПа, при изгибе 8,3 МПа, водопоглощением 1,4 %, морозостойкостью более F75 при ее содержании 5...10 % от массы цемента [36, 37].

Авторами [38] получен высококачественный мелкозернистый бетон с прочностью при сжатии 100 МПа, соответствующий концепции высококачественных бетонов, с комплексной органоминеральной добавкой, состоящей из золы-уноса и модификатора МБ 10-01 (суперпластификатора С-3 и воздухововлекающей добавки СНВ).

В течение последних пяти лет крупные отечественные и зарубежные производители добавок выделили в отдельную линейку продуктов добавки,

специально разработанные для вибропрессования. Наиболее распространенные добавки на отечественном рынке и используемые для производства изделий из жестких бетонных смесей методом вибропрессования представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Распространенные добавки на отечественном рынке для производства изделий из жестких бетонных смесей методом вибропрессования

Название (производитель)	Характеристика
SikaPaver HC-1 ООО «Зика» (Швейцария)	Высокоэффективная уплотняющая добавка для жестких и сверхжестких бетонных смесей. Применяется в бетонных смесях, характеризующихся очень низким расходом воды. Рекомендуемая дозировка 0,2...0,5 % от массы цемента.
SikaPaver HC-26 ООО «Зика» (Швейцария)	Высокоэффективная уплотняющая добавка для жестких и сверхжестких бетонных смесей. Применяется в бетонных смесях, характеризующихся очень низким расходом воды. Рекомендуемая дозировка 0,35...0,5 % от массы цемента.
«Ригоформ Базис» ООО «Суперпласт» (Россия)	Смесь эфиров карбоновых кислот различной молекулярной массы с поверхностно-активными веществами природного происхождения в сочетании с продуктами органического происхождения. Рекомендуемая дозировка продукта «Ригоформ Базис» при изготовлении жестких бетонных смесей методом полусухого вибропрессования составляет 0,2...1,2 % от массы вяжущего по жидкому (готовому) продукту.
«Murasan BWA 19» ООО «Эм-Си Баухеми» (Германия)	Модифицирующая добавка для полусухого вибропрессования. Комплексная добавка для бетонов и растворов на основе поверхностно-активных веществ и полимеров. Рекомендуемая дозировка добавки 0,1...0,5 % от массы цемента.
«RheoFIT 774» ЗАО «Басф» (Германия)	Добавка для изготовления бетонных изделий методом полусухого вибропрессования для улучшения уплотнения бетона. Оказывает структурообразующее действие и одновременно связывает воду. Выраженное свойство улучшенной гидратации цемента способствует появлению хороших прочностных характеристик. Рекомендуемая дозировка 0,1...1,2 % от массы цемента.
«Полипласт Вибро» ОАО «Полипласт» (Россия)	Добавка на основе производных нафталинсульфокислот, улучшающий уплотнение и укладку жестких бетонных смесей. Для жестких, сверхжестких бетонов и пескобетонов рекомендуемая дозировка 0,15...0,25 % от массы вяжущего в пересчете на сухое вещество.

Принципиальное отличие действия полифункциональных модификаторов в бетонных смесях от эффекта, достигаемого при введении в их состав индивидуальных добавок, заключается в том, что имеется

возможность существенного улучшения комплекса свойств бетонной смеси. Важным вопросом при выборе модификатора для производства плит бетонных тротуарных методом вибропрессования является определение их прочности, деформативных и физико-технических характеристик. Другим не менее важным вопросом является сохранение декоративных свойств вибропрессованных бетонов с использованием модифицирующих добавок в их составах.

1.3. Повышение долговечности вибропрессованных плит бетонных тротуарных

Разнообразные элементы мощения позволяют реализовать любой архитектурно-строительный проект, при этом они должны обладать достаточной прочностью и плотностью, высокой морозостойкостью и солестойкостью, износостойкостью с точными геометрическими размерами и безупречным внешним видом. Однако, наблюдается разрушение бетонных изделий ранее заявленного срока эксплуатации, особенно заметное на элементах мощения, таких как плита бетонная тротуарная.

Изучению долговечности строительных материалов посвящены научные труды и исследования [1, 39...48]. Несмотря на различные подходы к оценке долговечности материалов, так или иначе, можно сделать вывод, что для получения долговечного бетонного изделия повышенной эксплуатационной надежности, необходимо обеспечить получение бетона с улучшенными физико-механическими характеристиками.

Долговечность – способность сопротивляться внешним и внутренним воздействиям в течение наиболее возможно длительного времени – является комплексной характеристикой качества материалов. Долговечность оценивают по изменению до критических пределов физико-механических свойств изделий и по изменениям структуры материала, в то время как отклонение микро- и макроструктуры от оптимальной служит первой причиной изменения свойств. Кроме того, под долговечностью понимают способность материала сохранять в эксплуатационный период времени на

допустимом уровне структурные характеристики (параметры), которые сложились в технологический, т.е. предэксплуатационный период.

Период долговечности независимо от того, по какому способу она будет оценена – по изменению свойств или структуры – условно можно разделить на три этапа (временных элемента). До начала первого этапа имеется еще предэксплуатационный период, который характеризуется, в основном, набором и формированием структурных элементов и свойств. Он связан с выполнением технологических переделов и поэтому может быть назван как технологический. По сравнению с последующими этапами технологический период непродолжительный, хотя материал, еще не поступивший в эксплуатацию, может уже значительно изменить свою структуру и свойства, особенно при неблагоприятных условиях пребывания его в предэксплуатационное время.

На первом этапе у материала упрочняется структура или улучшаются свойства, на втором этапе – они относительно стабильны, третий этап характеризуется процессом деструкции, т.е. медленным или быстрым изменением структуры до ее критического предела или даже до полного разрушения и снижения характеристик. У отдельных материалов в эксплуатационный период могут отсутствовать или быть крайне непродолжительными те или иные этапы (что позволяет приравнять их к нулю). Может, к примеру, отсутствовать элемент улучшения свойств или их стабильности. Этап деструкции не всегда заметен, но всегда неизбежен. Крайне редко деструкция может протекать настолько интенсивно, что ее временной элемент можно приравнять к нулю.

Основной задачей повышения долговечности является увеличение продолжительности временных последовательных этапов – упрочнения структуры и стабильности свойств – до максимально возможных величин, с одновременным сокращением процессов деструкции.

На первом этапе долговечности под влиянием внешней среды, нагрузок, инверсий фаз и т.п. в период эксплуатации в материале возникают

и в процессе укрупняются новые (вторичные) структурные центры, которые совместно с первичными участвуют в дополнительном процессе уплотнения структуры, с увеличением концентрации твердой фазы, являющейся основным носителем эффекта упрочнения, что приводит к упрочнению структуры и улучшению других свойств. Однако упрочнение структуры в эксплуатационный период составляет только тогда положительный эффект в долговечности материала, когда не является следствием так называемого «старения», которое переводит материал в состояние хрупкого микротрещинообразования и, в конечном итоге, резкого сокращения долговечности.

На втором этапе стабилизации структуры не происходит значительных изменений концентрации структурных элементов в единице объема материала и наблюдаются относительно постоянные показатели свойств.

Самый типичный этап долговечности – это процесс деструкции, который может начаться сразу же с момента эксплуатации конструкции, или следовать за двумя начальными этапами упрочнения и временной стабилизации. Третий этап характеризуется потерей сплошности структуры с постепенным накоплением разрывом межатомных связей. Процесс постепенного повреждения структуры сопутствует каждой малой упругой деформации.

В этот период, кроме физических, также протекают химические и физико-химические процессы, т.е. процессы коррозии, при всестороннем воздействии физических факторов. Например, материал может находиться под агрессивным воздействием внешних факторов, таких как процесс замораживания и оттаивания, или под действием растягивающих усилий. Протекающие на последнем этапе интенсивные процессы образования микро- и макротрещин завершаются полным или частичным разрушением материала.

Изучение долговечности по всем периодам производится на всех уровнях структуры от молекулярной до микроскопической, и начинается с

характеристик структуры, а затем последовательно переходит к характеристикам свойств [49, 50].

Качество и надежность работы бетона в конструкциях определяются его свойствами. Основным свойством материала является прочность – способность материала сопротивляться разрушению от воздействия внутренних напряжений, возникающих в результате нагрузки и ряда других факторов [8].

Разрушением материала, в физическом смысле, является отделение частей друг от друга. Дефекты материала способствуют интенсивности процесса разрушения, т.е. снижают прочность материала.

Прочность бетона, как интегральная характеристика, зависит от свойств компонентов, состава и условий приготовления бетона. С прочностью бетона также связан и ряд других его свойств. Важным фактором является поведение бетона под нагрузкой, которое определяет его прочность и надежность работы материала в конструкции, и служит критерием оценки долговечности, трещиностойкости и других свойств бетона.

Частой причиной раннего разрушения строительных материалов является подбор состава бетона по прочности (по классу прочности) без учета условий работы в конкретных условиях. Бетон надо проектировать так, чтобы он работал без разрушения в любых условиях. Кроме подбора класса бетона по прочности, необходимо проектировать стойкий бетон, который сохранит необходимую прочность при работе конструкции в заданных условиях эксплуатации в течение длительных сроков эксплуатации.

Автор [1] указывает, что разрушение бетона связано не с бетоном, как одним из видов строительных материалов, а с несоответствием качества бетона, уложенного в конструкцию и условиям, в которых он будет работать.

Анализу причин разрушения бетона и теоретическим основам его прочности посвящены работы И.Н. Ахвердова, О.Я. Берга, Ю.М. Баженова, А.А. Гвоздева, Д.И. Гладкова, Ю.Е. Корниловича, П.А. Ребиндера,

А.В. Саталкина, Б.Г. Скрамтаева, А.Е. Шейкина, Фрейсине, Лермите и др. [1, 8, 51...56].

Исходя из обобщенных результатов исследований современных представлений о структуре и процессе разрушения, процесс разрушения бетона в действительности сложен и зависит от большого количества факторов. Знание процессов разрушения структуры бетона необходимо для проектирования бетона [57].

Из многочисленных классификаций структур бетона, наиболее полной представляется классификация, выделяющая три основных типа структуры: микроструктуру – структуру цементного камня; мезоструктуру – структуру цементно-песчаного раствора в бетоне; макроструктуру – двухкомпонентную систему (раствор – крупный заполнитель) [27]. Для каждой структуры характерны свои особенности, связанные с их образованием. Наиболее важными технологическими факторами, влияющими на формирование микроструктуры цементного камня, являются химико-минералогический состав цемента, тонкость его помола, водоцементное отношение и условия твердения. Важными факторами для мезоструктуры цементно-песчаного раствора является состав раствора, гранулометрический и минералогический состав песка и форма его зерен, характер поверхности частиц и их загрязненность. Макроструктура бетона имеет много общего с мезоструктурой, так как в этом случае может быть рассмотрен цементно-песчаный раствор, в котором распределен крупный заполнитель. Влияние на свойства макроструктуры бетона, помимо свойств цементно-песчаного раствора, оказывают свойства крупного заполнителя (форма и характер поверхности зерен, максимальная его крупность и загрязненность, а также количество и равномерность распределения в объеме).

Основные показатели свойств и структуры материала имеют критические границы, переход за пределы которых может сопровождаться сравнительно интенсивным разрушением материала или срочным капитальным ремонтом конструкции.

При установке критических границ основных физико-механических свойств вибропрессованных элементов мощения следует ориентироваться на требования действующих нормативных документов, в которых указаны, как правило, числовые показатели физико-механических свойств материала и допустимые пределы их изменения в период эксплуатации. Для некоторых материалов могут быть два, три или большее количество числовых показателей ключевых физико-механических свойств, причем для каждого устанавливается свой предельный уровень допустимого изменения. При эксплуатации конструкций необходимо увеличить продолжительность времени, до того момента, когда числовой показатель физико-механических свойств изделия достигнет своего критического значения. Соответствующий период времени выражает долговечность материала, поскольку недопустима дальнейшая эксплуатация конструкции без проведения капитального ремонта [49].

Аналогичный метод оценки долговечности производится и по структурным параметрам. Ключевые структурные показатели сильнее отражают уровень внутренних изменений в материале под влиянием эксплуатационных факторов. Эти изменения относятся к отклонениям от первоначально зафиксированных размеров ключевых структурных характеристик. Вследствие отклонений возможно нарушение оптимальных структур с частичной потерей ранее установленных физико-механических свойств. На сегодняшний день отсутствуют какие-либо нормы, способные отразить изменения структурных характеристик бетона. Допустимый уровень изменений в структуре устанавливается путем предварительного совместного изучения структурных и физико-механических характеристик материала оптимальной структуры и их сопоставления между собой. Появление микро- и макротрещин, увеличение пористости или ее резкое снижение, отслаивание контактной зоны, шелушение или выкрашивание, дислокационные нарушения в структуре и текстуре и другие дефекты являются существенными признаками внутренних структурных и физико-механических изменений, возникшими в материале под влиянием

эксплуатационных факторов. С их появлением возникает необходимость тщательного наблюдения за дальнейшим состоянием конструкций с принятием мер к своевременному их ремонту.

Среди эксплуатационных факторов, оказывающих, негативное влияние на состояние строительных конструкций и материалов, можно выделить следующие: механические – воздействия внешних нагрузок различной величины и интенсивности статического и динамического характера, а также собственного веса материала и конструкций; температурные – воздействия устойчивой температуры и ее колебаний в конструкциях зданий и сооружений; воздушную и газовую среду с содержанием в ней углекислого газа, пара, пыли и других примесей; водную среду с широкими пределами ее агрессивности; кислоты, щелочи, солевые растворы разных концентраций и другие жидкие среды, например, растительные масла, нефтепродукты, которые имеют различную степень агрессивности по отношению к материалу; климатические, к которым кроме упомянутых выше факторов относятся также солнечная радиация, ветер, влажность воздуха; воздействие некоторых других возможных физических факторов – электрического поля и тока, излучения, магнитного поля и т.п. Кроме того, нередко участвуют спонтанные негативные явления в материале.

Большую разрушительную активность по отношению к строительным материалам и конструкциям проявляют животные и растительные микроорганизмы и их производные – органогенные агрессивные среды. До 15...20 % от всего ущерба, нанесенного коррозией, вызывается микроорганизмами.

В реальных условиях на конструкцию и ее материал обычно воздействует комплекс из двух или большего количества эксплуатационных факторов. Получаемый эффект при воздействии такого комплекса значительно сложнее, чем от каждого фактора в отдельности или даже от их суммирования. Совместное воздействие активных сред и механических напряжений приводит к интенсификации деструкции и, в частности,

коррозионных процессов. Под влиянием деструкции, от их совместного воздействия, прочность, например, снижается в большей степени, чем суммарное уменьшение ее под влиянием внешней нагрузки, или минерализованных вод и циклического замораживания. То же – при совмещении воздействия агрессивной среды с попеременным замораживанием и оттаиванием. Следует отметить, что различного вида природными и производственными агрессивными средами повреждается от 15 до 75 % всех строительных конструкций зданий и сооружений [49].

Плотность бетона является одним из важнейших свойств, от которого напрямую зависит прочность, водопоглощение, морозостойкость, а как следствие и долговечность. Повышение плотности вибропрессованных изделий является одним из приоритетных направлений при оптимизации состава бетона и производства изделий из него.

Относительная плотность бетона может быть повышена тщательным подбором зернового состава заполнителей, обеспечением меньшего объема пустот в смеси, а, следовательно, и минимальным содержанием цементного камня в бетоне. Снижение В/Ц является одним из направлений повышения плотности бетона. Метод вибропрессования позволяет использовать жесткие бетонные смеси с низким В/Ц, а прессование позволяет удалять излишки воды при производстве изделий.

В технологии получения плотной структуры высокопрочного мелкозернистого бетона необходимо применять фракционированный песчаный заполнитель, модифицированный портландцемент и кварцевый песок при их совместном помоле, а для обеспечения высокой плотности и прочности использовать поливибрацию и создавать удельное давление при виброуплотнении не менее $R_{уд} = 0,0131 \text{ МПа}$ [58].

Оптимизация гранулометрического состава бетонной смеси из условия наибольшей плотности упаковки путем смешивания реальных сырьевых компонентов со своим зерновым составом в оптимальном соотношении

позволила получить мелкозернистый бетон с улучшенными прочностными характеристиками и повысить его класс без увеличения расхода цемента [59...65].

Применение фракционированных песков с подобранной гранулометрией – один из наиболее рациональных приемов экономии цемента. Разработана методика по подбору гранулометрии с использованием метода планирования эксперимента, предусматривающая расчетно-экспериментальное определение пустотности песка в зависимости от содержания различных фракций (рисунок 1.6) [66...75].

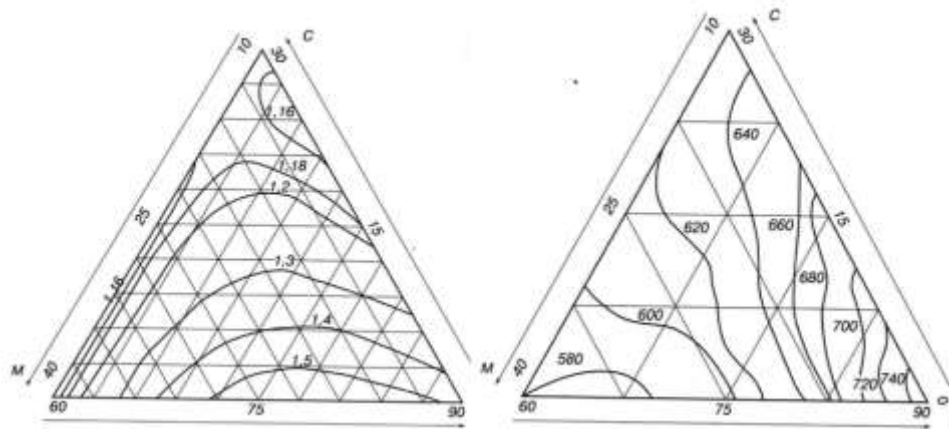


Рисунок 1.6. Графическая интерпретация метода фракционирования

Использование поливибрационного уплотнения позволило в мелкозернистом бетоне сократить расход цемента, повысить прочность на сжатие до 94 МПа и снизить деформативные свойства по усадке и ползучести [76].

Эффективный силовой метод уплотнения мелкозернистого бетона – двухстадийный режим вибропрессования – позволяет получать бетон с прочностью на сжатие более 80 МПа за счет улучшенной структуры и хорошей контактной зоны между компонентами [77].

Применение модификаторов совместно с суперпластификаторами обеспечивает получение суммарного эффекта, который выражается в повышении плотности и упрочнении структуры мелкозернистого бетона, результатом чего является получение высокопрочных и высококачественных

мелкозернистых бетонов. Для получения высокопрочных бетонов необходимо применять качественные материалы и добавки-модификаторы, при этом, как указывают авторы [78...80], целесообразно использовать тройные системы «суперпластификатор – тонкодисперсный наполнитель – нанодобавки».

Разработан оптимальный состав наномодифицированного мелкозернистого бетона, содержащего нанодобавку (золь нанокремнезема), микрокремнезем и белую сажу с суперпластификатором «Реламикс», с прочностью на сжатие 43 МПа после ТВО и 52 МПа при твердении в естественных нормальных условиях [81].

Авторами [82] показана возможность получения элементов мощения с использованием отсева дробления гравийно-песчаной смеси флювиогляциальных горных пород соответствующих требованиям, предъявляемым к элементам мощения.

Использование модифицирующей наноструктурированной добавки, содержащей стабилизированный наноразмерный кремнезем, в количестве 10 % и суперпластификатора С-3 в составе мелкозернистого бетона приводит к модификации структуры цементного камня за счет нанокремнезема и к образованию труднорастворимых смешанных солей, заполняющих поры мелкозернистого бетона, что способствует снижению среднего диаметра пор с 3,2 до 0,83 мкм, перераспределению пор по размерам в сторону их уменьшения и обеспечивает получение образцов с прочностью 59 МПа [83].

Использование органоминеральной добавки, состоящей из вулканического туфа фракции 0,63...1,25 мм в количестве 5 % от массы плотных заполнителей и суперпластификатора Melment F10 в количестве 0,5 % от массы цемента, позволило получить мелкозернистые бетоны с прочностью на сжатие 50,3 МПа, существенно повысить их физико-механические свойства и долговечность, что увеличивает их срок эксплуатации [84].

Установлено, что добавка микрокремнезема конденсированного уплотненного (МКУ-85) повышает прочностные показатели бетона на 82 % по сравнению с бездобавочным составом [85].

Эффективная двухстадийная технология уплотнения и использование комплексных химических добавок С-3 + СДО позволили получить мелкозернистые бетоны с прочностью на сжатие 70...82 МПа и с морозостойкостью F200 [86].

Проведенные исследования [87] по выявлению влияния различных клинкерных минералов на изменение прочности мелкозернистых прессованных бетонов во времени показали, что допустимое содержание C_3A в цементах, применяемых для прессованных и вибропрессованных бетонов следует поддерживать на уровне 4...5 %. Так как при недостатке либо избытке гипса в цементах, содержащих 7...15 % C_3A , в первые 2...14 сут твердения наблюдается изменение фазового состава гидроалюминатов и гидросульфалюминатов кальция, что отрицательно влияет на марочную прочность и морозостойкость бетона. Чем выше водоцементное отношение бетонной смеси, тем более выражены процессы релаксации собственных деформаций и напряжений в бетоне, поэтому отрицательное воздействие указанных явлений при повышении содержания C_3A в прессованных бетонах выражено более четко.

Основными факторами, влияющими на долговечность строительных материалов, является действие воды, водяного пара, ветра, мороза, агрессивной среды, солей, антиобледенителей и высоких температур. Дорожные элементы мощения, уложенные в условиях средней полосы и севера, подвержены постоянному агрессивному воздействию окружающей среды. Тенденция зим последних десяти лет показывает значительное увеличение перепадов температур, колеблющихся около 0°C. Поэтому для повышения эксплуатационной надежности и долговечности вибропрессованной плиты тротуарной важное значение имеет морозостойкость. Основной причиной,

вызывающей разрушение бетона в таких условиях, является давление на стенки пор и устья микротрещин, создаваемые давлением воды. Повторяемость замерзания и оттаивания приводит к постепенному разупрочнению структуры бетона и к его разрушению.

Морозостойкость бетона зависит от его строения, особенно от характера пористости, так как она определяет объем и распределение льда, образующегося в теле бетона при отрицательных температурах, и, следовательно, значение возникающих напряжений и интенсивность протекания процесса ослабления структуры бетоны.

Взаимосвязь пористости с механической прочностью описывается тремя типами полуэмпирических уравнений, полученных Балчиным [88], Рюкшевичем [89] и Шиллером [90]. Расчетные и экспериментальные данные, приведенные рядом авторов, которые изучали зависимость механической прочности от пористости на различных материалах, доказывают увеличение прочности с уменьшением пористости.

Значения пористости по Вербеку и Хельмуту [91], выраженную каппилярами, не укладываются в общую кривую. Фаргеланд [92] скорректировал данные для цементного камня.

Испытывая различные материалы было выявлено влияние размеров пор, типа продукта и общей пористости. Различия по прочности при сжатии разных материалов при близкой общей пористости зависят от разницы в среднем размере пор, чем меньше размер пор, тем выше прочность. Очень низкие значения общей пористости не оказывают влияния на прочность. При очень низкой общей пористости на механические свойства материала воздействуют, главным образом, свойства твердой фазы и капиллярные поры [93...95].

Капиллярные поры представляют собой часть общего объема, не заполненного продуктами гидратации. Они различны по форме, размер их составляет порядка $12,7 \cdot 10^{-5}$ см, и образуют взаимосвязанную систему,

распределенную по всему цементному камню. Эти взаимосвязанные капиллярные поры и определяют морозостойкость затвердевшего цементного камня.

Капиллярная пористость цементного камня зависит от В/Ц смеси и от степени гидратации. При сочетании определенного В/Ц и требуемой степени гидратации в затвердевшем, плотном цементном камне капилляры могут оказаться блокированы цементным гелем и разделенными на части и, таким образом, стать капиллярными порами, соединенными между собой порами геля. Наличие замкнутых пор является одним из основных условий, необходимых для получения изделий с высокой морозостойкостью [96].

Проектирование морозостойкости бетонов нужно осуществлять таким образом, чтобы создавать бетоны, у которых не может происходить процессов разрушения, так как в структурных составляющих не будут появляться напряжения от превращения воды в лед [1, 8].

Недопустимы воздушно-сухие условия твердения вибропрессованного бетона, в результате которых существенно снижается его плотность и растет проницаемость, предопределяющие снижение долговечности вибропрессованных изделий [97, 98].

Учитывая все особенности производства вибропрессованных элементов мощения, следует учитывать, что главным образом производство осуществляется по двухслойной технологии. Плита тротуарная состоит из двух слоев: верхнего – облицовочного (толщина 10 % от общей толщины изделия) и нижнего – основного. Особенность разрушения таких изделий заключается в том, что сначала разрушается нижний слой, а затем только верхний. На начальном этапе повреждения всегда исходят от краев, вода и растворенные в ней химические реагенты скатываются по облицовочному слою, и, попав в промежуток между изделиями, проникают в нижний слой. После разрушения нижнего слоя, вызванного морозом, происходит отторжение верхнего слоя. Таким образом, облицовочный слой, уже не

имеющий опоры, либо разрушается сразу, либо изнашивается под действием пешеходных нагрузок.

Кроме всего перечисленного, учитывая условия эксплуатации дорожных элементов мощения из вибропрессованного бетона, внимание следует уделить такому физико-механическому показателю, как истираемость. Динамическим нагрузкам от воздействия пешеходов и автомобилей, с точки зрения истираемости, подвержен только верхний, облицовочный слой изделия.

Предлагается с целью повышения эксплуатационных свойств вибропрессованного бетона применять холодную пропитку водорастворимой серой [99]. При пропитке бетона раствор серы проникает в поровое пространство цементного камня на 20...30 мм и после осушения обеспечивает частичную кольтматацию пространства закристаллизованной серой, уплотняя и гидрофобизируя структуру поверхностного слоя изделия.

Доказано, что применение простых суперпластификаторов не целесообразно. Наибольший эффект суперпластификаторов достигается в подвижных смесях, где объем воды между частицами цемента сравнительно велик. В жестких смесях с низким В/Ц основной объем воды зафиксирован на поверхности частиц цемента и новообразований, поэтому высвобождение воды незначительно увеличивает объем дисперсной среды, следовательно, силы сцепления между частицами устраняются не полностью. Это проявляется в меньшей степени, чем разжижающее действие суперпластификаторов в жестких смесях. Кроме того, из-за образования адсорбционной пленки на поверхности цементных частиц замедляется его гидратация и снижается ранняя прочность бетонных изделий [100].

Разработано антиобледенительное покрытие для мелкозернистого бетона со сверх- и супергидрофобными свойствами поверхности, позволяющее получать верхний защитный слой бетона с плотностью 2251...2400 кг/м³, пределами прочности при сжатии 43,6...71,8 МПа;

марками по морозостойкости F200...F400, истираемостью 0,3...0,58 г/см², водопоглощением 4,4...5,6 %, адгезионной прочностью льда 0,03...0,057 МПа, обеспечивающее значения краевого угла смачивания поверхности 135...156° и критического угла скатывания 41,8...5,7° [101].

Учитывая, что при производстве плит бетонных тротуарных методом вибропрессования, используются жесткие бетонные смеси, возможно получение изделий с техническими характеристиками, значительно превышающими требования ГОСТ 17608-91, что повысит их долговечность.

1.4. Повышение архитектурной выразительности вибропрессованных плит бетонных тротуарных

Асфальтовая серость городов уходит в прошлое. Все чаще для устройства пешеходных дорожек, детских площадок, парковых зон и, в особенности, дачных участков используются элементы мощения из декоративного бетона. Плита тротуарная является любимым элементом благоустройства территории, как ландшафтных дизайнеров, так и строителей. И если последних, главным образом, интересуют технологические характеристики изделий и удобство укладки, то дизайнер хочет видеть разнообразие формы и расцветки. В настоящее время проектировщикам, архитекторам и застройщикам доступно множество современных материалов, не только соответствующих необходимым требованиям, но и обеспечивающих привлекательный эстетический вид. При этом важным элементом для оформления пространства является использование цветных строительных материалов.

К внешнему виду декоративных бетонных изделий всегда предъявляются очень высокие требования. Это связано, прежде всего с тем, что оптическое качество лицевой поверхности – это единственное, что покупатель может оценить сразу же после укладки, без применения дополнительных средств. К сожалению, оценка потребителя, производящаяся в соответствии с его собственными ощущениями и представлениями, не всегда совпадает с оценкой производителя. Поверхность декоративного бетона следует оценивать с

некоторого расстояния, не прибегая к помощи лупы. Иногда качество цвета бетонной поверхности оценивают путем сравнения с цветом других видов поверхностей, например с лакированными или керамическими поверхностями. При этом потребитель забывает, что изделие изготовлено из природных компонентов (щебня, песка, цемента или пигментов), которые имеют свой цвет, влияющий на конечный цвет продукта [102, 103].

Иногда, не только конечному потребителю, но и самим производителям не хватает знаний о том, какие факторы, помимо красящих пигментов оказывают влияние на качество окраски бетона.

С каждым годом, рынок строительных материалов для дорожного строительства расширяется. Вибропрессованная плита тротуарная прочно удерживает лидерство с точки зрения технических характеристик, по сравнению с плитой тротуарной, изготовленной по литевой технологии или декоративным бетоном. Однако, последний является гораздо более эстетически и архитектурно привлекательным материалом. Декоративный бетон – эффективное недорогое решение, которое обеспечивает сочетание всей цветовой гаммы сланца с прочностью бетона. Декоративный бетон долговечен, надежен и практичен. Декоративный бетон придает окраску и особенность бетону, где бы его не использовали: как для личного, так и для коммерческого применения, включая пешеходные дорожки, подъездные пути, внутренние дворы, демонстрационные залы, разделительные полосы, многоквартирные комплексы, места парковок и многое другое.

Цветовой эффект, например, плиты тротуарной, определяется не только окрашивающими цемент пигментами. На цвет поверхности, наряду с рецептурными компонентами, оказывает влияние целый ряд других факторов.

Первое место при этом отводится особенностям рельефа изделия, поскольку интенсивность и сочность цвета определяется отражением. В соответствии с этим действует правило: чем больше отражение, тем интенсивнее ощущение цвета. Предмет, обладающий гладкой малопористой

поверхностью, кажется нам более интенсивно окрашенным, чем предмет с шероховатой поверхностью. Поэтому, при производстве цветных вибропрессованных изделий необходимо стремиться к получению более плотной и менее пористой структуры окрашенной лицевой поверхности.

Существующие способы окрашивания позволяют получать вибропрессованную плиту тротуарную уникальную по окрасу, эстетически привлекательную и архитектурно-выразительную.

Компанией «СИСТРОМ» разработана технология получения глянцевой поверхности декоративного бетона с высокими эксплуатационными свойствами с применением полимерных форм с глянцевой рабочей поверхностью. Выпущены облицовочные плиты прочностью 100 МПа на портландцементе ЦЕМ I 32,5 Н с применением суперпластификатора С-3, с морозостойкостью более F500, истираемостью менее 0,4, водопоглощением менее 3 % [104].

Известны различные технологии производства, в которых реализована идея получения цветных изделий из бетона. Включения разного цвета в изделиях создают, как правило, при помощи размещения перегородок в загрузочном оборудовании, либо в матрице пресс-формы. При размещении перегородок в ячейках матрицы пресс-формы и заполнении полученных отсеков бетонной смесью выбранного цвета указанные перегородки остаются в готовом изделии, что отрицательно влияет на прочностные свойства [105, 106].

В других вариантах перегородки устанавливают в загрузочном ящике с гидроприводом. В разные отсеки загрузочного ящика помещают бетонную смесь разного цвета. При этом загрузку декоративного слоя выполняют прерывисто многократно и многослойно [107], имитируя расцветку природного камня.

Применяют технологию изготовления декоративных строительных изделий [108], включающую перемешивание с водой вяжущего, содержащего портландцементный клинкер, твердый модификатор, наполнители (гипс и пигменты), заполнители, функциональные добавки, выдерживание

полученной смеси с последующей ее укладкой, формовкой, уплотнением и термообработкой. Причем для получения многоцветных изделий готовят несколько смесей, различающихся по цвету или тону, которые через систему сит (например, через колосниковые решетки) подают в бункер, поддерживая при этом стационарный поток каждой смеси.

Для изготовления декоративных изделий с мраморовидной структурой используют цветные смеси, а также устройство, представляющее собой бункер, разделенный внутренней перегородкой на два отсека. В нижней части бункера предусмотрен шибер, перекрывающий выход из обоих отсеков. Под ним расположен другой бункер, образуемый в нижней части стенками, две из которых прикреплены к осям, вокруг которых они могут поворачиваться. Подвижные стенки имеют отверстия и представляют собой систему сит, в данном случае, колосниковых решеток, так как отверстия выполнены в форме щелей, с колосниками. На центральном колоснике закреплены на крючках цепи, которые могут регулировать угол наклона колосниковых решеток. Как правило, они находятся в положении, открывающем вид на них сверху.

При изготовлении изделий с мраморовидной структурой цветные смеси помещают в указанные отсеки. После этого открывают шибер и смеси перетекают во второй бункер, а из него через щели колосников в формы. При этом не происходит разрывов сплошности потоков каждой смеси и, в результате, на лицевой поверхности изделий формируется четкая мраморовидная текстура, то есть имеется четкая граница при переходе от одного оттенка цвета к другому.

Прием укладки облицовочного слоя бетона в матрицу пресс-формы обеспечивает плавный переход друг в друга всех изначально поданных цветов бетонной смеси с получением бетонных изделий с более широкими функциональными возможностями для создания новых цветовых решений при реализации архитектурно-строительных проектов.

В России на установках вибропрессования используются системы дозирования для компактированного пигмента и гранулята. Данные установки могут работать с гранулятами, полученными распылительной сушкой, и с компактированными пигментами из мешков. Универсальность позволяет эксплуатировать эти установки максимально с различными красителями и несколькими смесителями. Все это позволяет использовать идеальное решение для окрашивания бетонной поверхности технологией «colormix» [6].

Разработаны общие принципы получения вибропрессованных плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей, включающие оптимизацию жестких бетонных смесей и технологических приемов изготовления изделий, с целью повышения долговечности и архитектурной выразительности (рисунок 1.7).

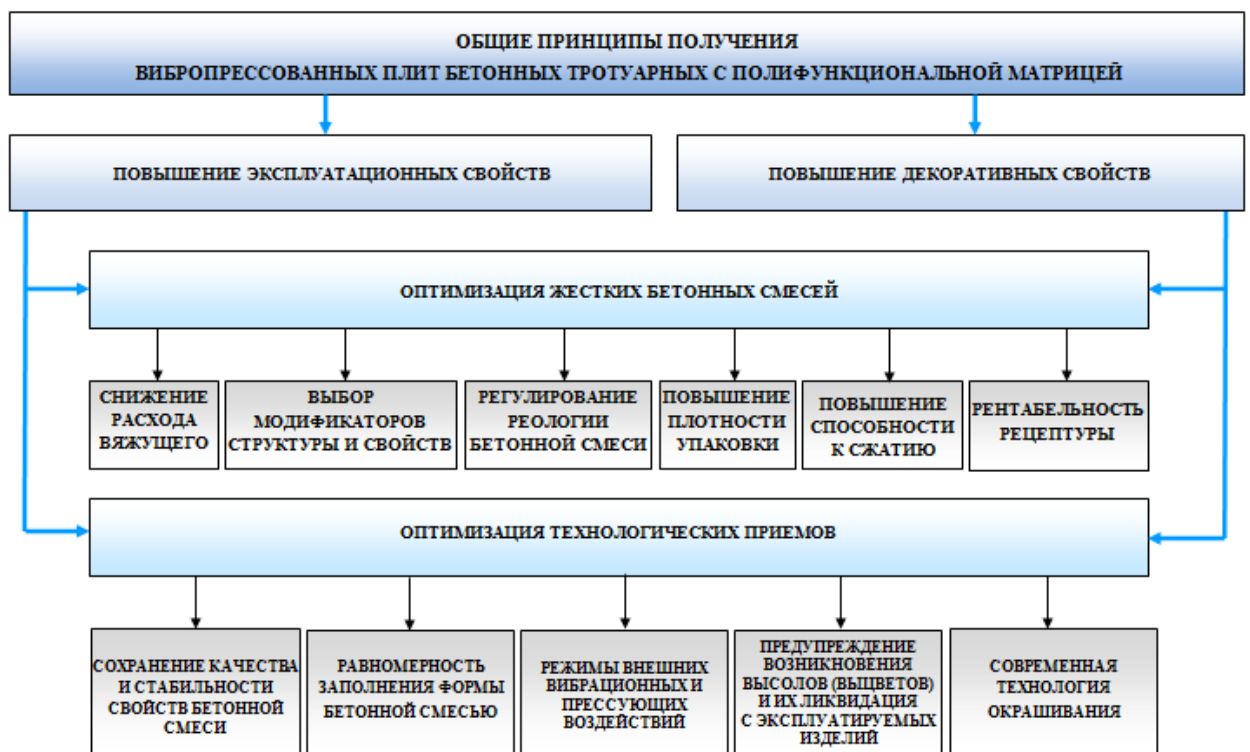


Рисунок 1.7. Общие принципы получения вибропрессованных плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей

Используя эти принципы и варьируя вид и качество сырья, состав материалов и технологические параметры, можно получать вибропрессованные плиты бетонные тротуарные с повышенными физико-

механическими и декоративными свойствами, управлять технологическим процессом и устанавливать требования к технологическим режимам, которые позволят создавать вибропрессованные плиты бетонные тротуарные с полифункциональной матрицей, обеспечивающей повышение долговечности и архитектурной выразительности.

1.5. Выводы

1. Необходимо создание комплексного подхода к вопросу получения вибропрессованных плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей за счет усовершенствования всех этапов проектирования и производства.

2. Применение модификатора и оптимизация состава жестких бетонных смесей позволит повысить эксплуатационные характеристики вибропрессованных плит бетонных тротуарных.

3. Одним из перспективных направлений повышения технико-экономической эффективности производства вибропрессованных изделий является получение долговечных и архитектурно-выразительных вибропрессованных плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей, имеющих преимущества и высокую эффективность как в технологическом, так и в экономическом плане, за счет повышения эксплуатационных и декоративных свойств.

2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

2.1. Методы исследования свойств сырьевых материалов и плит бетонных тротуарных

Экспериментальные исследования проводили на кафедре строительного материаловедения, изделий и конструкций, в Центре высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова, производственных лабораториях ООО «Белгородский завод архитектурного бетона», ЗАО «Белгородский цемент» и в ФБУ «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Белгородской области».

Методологическая особенность работы заключается в системном подходе к исследованию процесса вибропрессования бетонных смесей. Исследования проводили в следующей последовательности. На первом этапе подбирали рецептуру жесткой бетонной смеси с учетом условий производства, доступности сырьевых материалов. Основной задачей являлось получение экономически выгодной рецептуры бетонной смеси для производства вибропрессованных плит бетонных тротуарных повышенной долговечности.

На втором этапе разрабатывали методологический подход для определения параметров оценки роли внешних вибрационных и прессующих воздействий на формирование оптимальной структуры вибропрессованных изделий.

На третьем этапе осуществляли повышение архитектурной выразительности элементов мощения из вибропрессованных бетонов.

Испытания портландцемента проводили на соответствие требований ГОСТ 31108-2003 [109]. Нормальную густоту и сроки схватывания цементного теста определяли с помощью прибора Вика по [110]. Класс цемента по прочности на изгиб и сжатие определяли на образцах-балочках размером 40×40×160 мм по ГОСТ 310.4-81 [111].

Испытания песков проводили по ГОСТ 8735-88 и ГОСТ 8736-93 [112, 113].

Испытания щебня проводили по ГОСТ 8269-97 и ГОСТ 8267-93 [114, 115].

Образцы вибропрессованных плит тротуарных изготавливали на автоматизированной технологической линии «HESS», предназначенной для производства мелкоштучных изделий методом полусухого вибропрессования машиной серии Multimat RH 1500-3¹ (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1. Вибропресс фирмы «HESS» для производства мелкоштучных изделий методом вибропрессования

Для определения технологических характеристик и показателей качества бетонной смеси при подборе состава и сравнительных испытаниях добавок для вибропрессования использовалось приспособление для формирования контрольных образцов бетона методом вибропрессования.

Для моделирования процесса вибропрессования, точного подбора расхода пигмента и цвета бетона, проверки эффективности химических добавок, подбора состава бетона применяли стенд для моделирования формирования бетонных образцов методом вибропрессования¹ (рисунок 2.2).

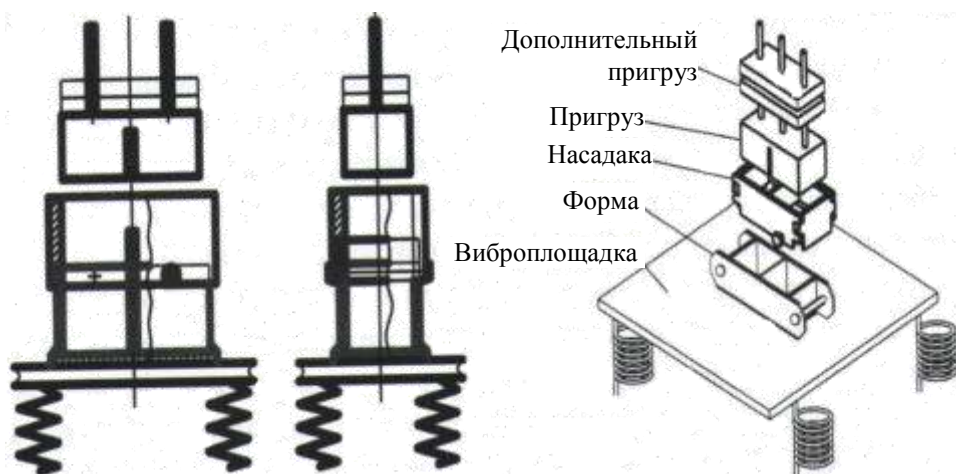


Рисунок 2.2. Стенд для формирования контрольных образцов бетона методом вибропрессования

¹ ООО «Белгородский завод архитектурного бетона», г. Белгород

Стенд позволяет варьировать параметры режимов формирования и оценивать расход пигмента и добавок и подобранного состава бетонной смеси к немедленной распалубке, обеспечению требуемой распалубочной прочности, сохранению заданных размеров образца и удовлетворительного состояния поверхности.

Стенд состоит из следующих узлов: лабораторной виброплощадки СМЖ, формы для контрольных образцов бетона 2 ФК-100 по ГОСТ 22685; пригруза, представляющего собой съемные грузы на каждое гнездо формы; насадки. Формование образцов осуществляется в следующей последовательности. Форма заполняется исследуемой смесью и осуществляется ее предварительное уплотнение. При этом время предварительной вибрации устанавливается в соответствии со стандартными режимами работы вибропресса. После предварительного уплотнения происходит добавление бетонной смеси в форму и выравнивание ее поверхности. На поверхность предварительно уплотненной смеси, находящейся в форме, опускается пригруз и смесь подвергается вибрации под давлением. Время уплотнения принимается по аналогии с работой вибропресса. Но, как правило, из-за меньшей интенсивности работы лабораторной виброплощадки, для достижения заданной плотности приходится увеличивать время вибропрессования.

После окончания формования нагрузка и насадка снимаются. Формование образцов производили в следующей последовательности: подготовка оборудования к работе; закрепление формы на виброплощадке; приготовление бетонной смеси необходимого состава; установка насадки на форму для приготовления бетонных образцов; взвешивание бетонной смеси в количестве, необходимом, для заполнения каждого гнезда формы; заполнение каждого гнезда формы примерно на $\frac{2}{3}$ массы отвешенного количества бетонной смеси; включение вибратора на несколько секунд (предварительная вибрация); досыпка оставшейся бетонной смеси в каждое гнездо; установка пригрузов на бетонную смесь; включение вибрации;

отключение вибрации при высоте уплотненной смеси 100 мм (высота образца определяется по рискам, нанесенным на пригруз; фиксация времени вибрации; снятие пригруза и насадки.



Рисунок 2.3. Смеситель лабораторный ЛС-ЦБ-10

Приготовление жесткой бетонной смеси для испытания на стенде осуществляли в лабораторном смесителе ЛС-ЦБ-10¹ (рисунок 2.3) и на технологической линии «HESS» в производственном бетоносмесителе принудительного действия со скиповым подъемником серии SM (SCHLOSSER PFEIFFER).

Для определения средней плотности бетонных смесей в уплотненном состоянии, не позднее чем через 10 мин после распалубки, отбирали свежеотформованные образцы плиты тротуарной, согласно ГОСТ 10181-2000 [116]. Объем образцов правильной формы определяли по их геометрическим размерам. Размеры образцов определяли штангенциркулем с погрешностью не более 1 мм. Массу образцов определяли взвешиванием на лабораторных весах с погрешностью не более 0,1 %.

Коэффициент уплотнения определяли как отношение фактической плотности к истинной.

Испытания прочности бетона свежеотформованных образцов и затвердевших плит тротуарных на сжатие производили в соответствии с ТУ 5746-001-62636323-2013 [117].

Контроль однородности и прочности на сжатие образцов производили по ГОСТ 18105-2010 [118] на испытательном прессе ИП-2500 М¹ (рисунок 2.4).

Образцы плит бетонных тротуарных отбирали непосредственно с технологической линии не позднее, чем через 10 мин после распалубки.

Образцы испытывали на прессе при температуре $20 \pm 5^\circ\text{C}$ и относительной влажности не менее 55 % не позднее, чем через 30 мин после распалубки.

¹ ООО «Белгородский завод архитектурного бетона», г. Белгород

Отбор не менее шести образцов для проведения испытаний на прочность производили при выгрузке из сушильной камеры с технологической линии. Образцы плит бетонных тротуарных отбирали и выдерживали перед испытанием не менее 4 часов при температуре $20 \pm 5^\circ\text{C}$ и относительной влажности не менее 55 %.



Перед испытанием образцы осматривали на наличие дефектов (отслоения, околы ребер, раковины, инородные включения, расслоение бетонной смеси).

Рисунок 2.4. Пресс ИП-2500 М

Наибольшее требуемое усилие для плит бетонных тротуарных толщиной 40 и 60 мм составляло 50 т, для 80 мм – 100 т.

По результатам серии образцов плит бетонных тротуарных определяли прочность каждой плиты бетонной R_i . Прочность, МПа, вычисляли по формуле:

$$R_i = \frac{P}{S_{cp}}, \quad (2.1)$$

где P – разрушающее усилие, кН; S_{cp} – средняя площадь контакта плит бетонных со стальными плитами пресса, см^2 .

Среднюю площадь контакта образца, вычисляют по формуле:

$$S_{cp} = \frac{S_{\phi} + S_{осн}}{2}, \quad (2.2)$$

где S_{ϕ} – площадь плиты бетонной по периметру фаски в соответствии с размерами, указанными в рабочих чертежах; $S_{осн}$ – площадь опорной поверхности, определяемая по периметру плиты бетонной с учетом выемок, в соответствии с размерами, указанными в рабочих чертежах. За результат испытаний принимали среднее значение прочности на сжатие плиты бетонной в серии R_{cp} , МПа, и минимальное значение в серии R_{min} , МПа.

Среднюю плотность плит бетонных определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 12730.1-78 [95].

Водопоглощение бетона плиты тротуарной определяли по ГОСТ 12730.3-78 [120].

Морозостойкость бетона определяли согласно ГОСТ 10060.0-95 и ГОСТ 10060.1-95 [121, 122]. Испытание на морозостойкость вибропрессованной плиты бетонной тротуарной проводили согласно ТУ 5746-001-62636323-2013.

Дальнейшие испытания плит бетонных тротуарных на морозостойкость производили в соответствии с ГОСТ 10060.0-95.

Пористость вибропрессованных плит бетонных тротуарных определяли согласно ГОСТ 12730.4-78 [123].

Определение истираемости вибропрессованного бетона плит проводили на установке типа «круг истирания» ЛКИ-2¹ (рисунок 2.5) в соответствии с ГОСТ 13087-81 [124].



Рисунок 2.5. Круг истирания ЛКИ-2

Микроструктурные исследования образцов плит бетонных тротуарных проводили с помощью метода растровой ионно-электронной микроскопии (РЭМ). Анализ микроструктуры проводили на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения TESCAN MIRA 3 LMU2, включающем энергодисперсионный спектрометр (ЭДС) X-MAX 50 Oxford Instruments NanoAnalysis для электронно-зондового микроанализа (рисунок 2.6).

Для качественной оценки фазового состава сырьевых материалов применяли метод рентгенофазового анализа (РФА) на порошковом рентгеновском дифрактометре ARL X'TRA Thermo Fisher Scientific (рисунок 2.7).



Рисунок 2.6. Сканирующий электронный микроскоп высокого разрешения TESCAN MIRA 3 LMU



Рисунок 2.7. Рентгеновский дифрактометр ARL X'TRA Thermo Fisher Scientific

² Центр высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова

2.2. Характеристика применяемых материалов

Для проведения экспериментальных и опытно-промышленных работ использовали портландцемент ЦЕМ I 42,5Н производства ЗАО «Белгородский цемент» г. Белгород с удельной поверхностью – 320...330 м²/кг, нормальной густотой цементного теста – 25 %, сроками схватывания: начало – 2 ч 10 мин, конец – 3 ч 20 мин; равномерностью изменения объема – 0,11 мм; содержанием SO₃ – 2,45 %; средней активностью цемента в возрасте 2 сут – 18,1 МПа, в 28-суточном возрасте – 53,1 МПа, отвечающий требованиям ГОСТ 31108–2003 [109, 125, 126]. Химический и минералогический составы цемента приведены в таблицах 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1

Химический состав портландцемента марки ЦЕМ I 42,5 Н, мас. %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	CaO _{св}	ппп
22,58	4,68	4,43	67,19	0,43	2,46	0,63	0,33	0,24

Таблица 2.2

Минералогический состав портландцемента марки ЦЕМ I 42,5 Н, мас. %

C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
64,4	17,1	6,1	12,4

В качестве мелкого заполнителя использовались кварцевые пески: Вяземского (Смоленская обл.), Курского (Курская обл.), Новотаволжанского (Белгородская обл.), Хохольского (Воронежская обл.) месторождений. Характеристики используемых песков представлены в таблицах 2.3 и 2.4. Пустотность применяемых песков – 35...37 %; содержание глинистых, илистых и пылевидных частиц – 0,5...1,5 %; влажность – 4...6 %. Минералогические составы кварцевых песков исследовали методом рентгенофазового анализа (рисунок 2.8).

Таблица 2.3

Характеристики кварцевых песков по плотности

Наименование	Истинная плотность, кг/м ³	Насыпная плотность, кг/м ³
Новотаволжанский песок	2535	1399
Курский песок	2540	1504
Вяземский песок	2570	1550
Хохольский песок	2610	1534

Зерновой состав используемых песков

Наименование остатка	Размер отверстий сит, мм					Проход через сито 0,16 мм	Модуль крупности М _{кр}
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16		
новотаволжанский песок							
Частный, г	2,6	3,2	34,5	381,9	514,2	60,2	1,41
Частный, %	0,3	0,3	3,5	38,3	51,6	6,0	
Полный, %	0,3	0,6	4,1	42,4	94,0		
курский песок							
Частный, г	6,0	12,0	125,2	450,1	356,6	49,7	1,71
Частный, %	0,6	1,2	12,5	45,0	35,7	5,0	
Полный, %	0,6	1,8	14,3	59,3	95,0		
вяземский песок							
Частный, г	82,5	116,3	228,8	307,9	192,5	64,4	2,39
Частный, %	8,3	11,7	23,1	31,0	19,4	6,5	
Полный, %	8,3	20,0	43,1	74,1	93,5		
хохольский песок							
Частный, г	92,6	178,7	204,3	261,0	212,5	47,4	2,53
Частный, %	9,3	17,9	20,5	26,2	21,3	4,8	
Полный, %	9,3	27,2	47,7	73,9	95,2	—	

В качестве крупного заполнителя применяли щебень гранитный фракционированный ЗАО «Бластко», Коломоевского гранитного карьера (Днепропетровская обл., Криворожский р-н) фракции 5...10 мм с истинной плотностью – 2640 кг/м³; насыпной плотностью – 1358 кг/м³; содержанием лещадных и пластинчатых частиц – 12,5 %; содержанием пылевидных и глинистых частиц – 0,3 %; маркой по дробимости – М1400; маркой по морозостойкости – F300 и щебень гранитный фракционированный ЗАО «Кировоградгранит», Кировоградского гранитного карьера фракции 2...5 мм с истинной плотностью – 2610 кг/м³; насыпной плотностью – 1340 кг/м³; содержанием лещадных и пластинчатых частиц – 10 %; содержанием пылевидных и глинистых частиц – 0,5 %; маркой по дробимости – М1000; морозостойкостью – F300.

Применяли неорганические железоокисные пигменты и оксид хрома торговой марки Bayferrox «Ланксесс Дойчланд ГмбХ» (Германия) (таблица 2.5).

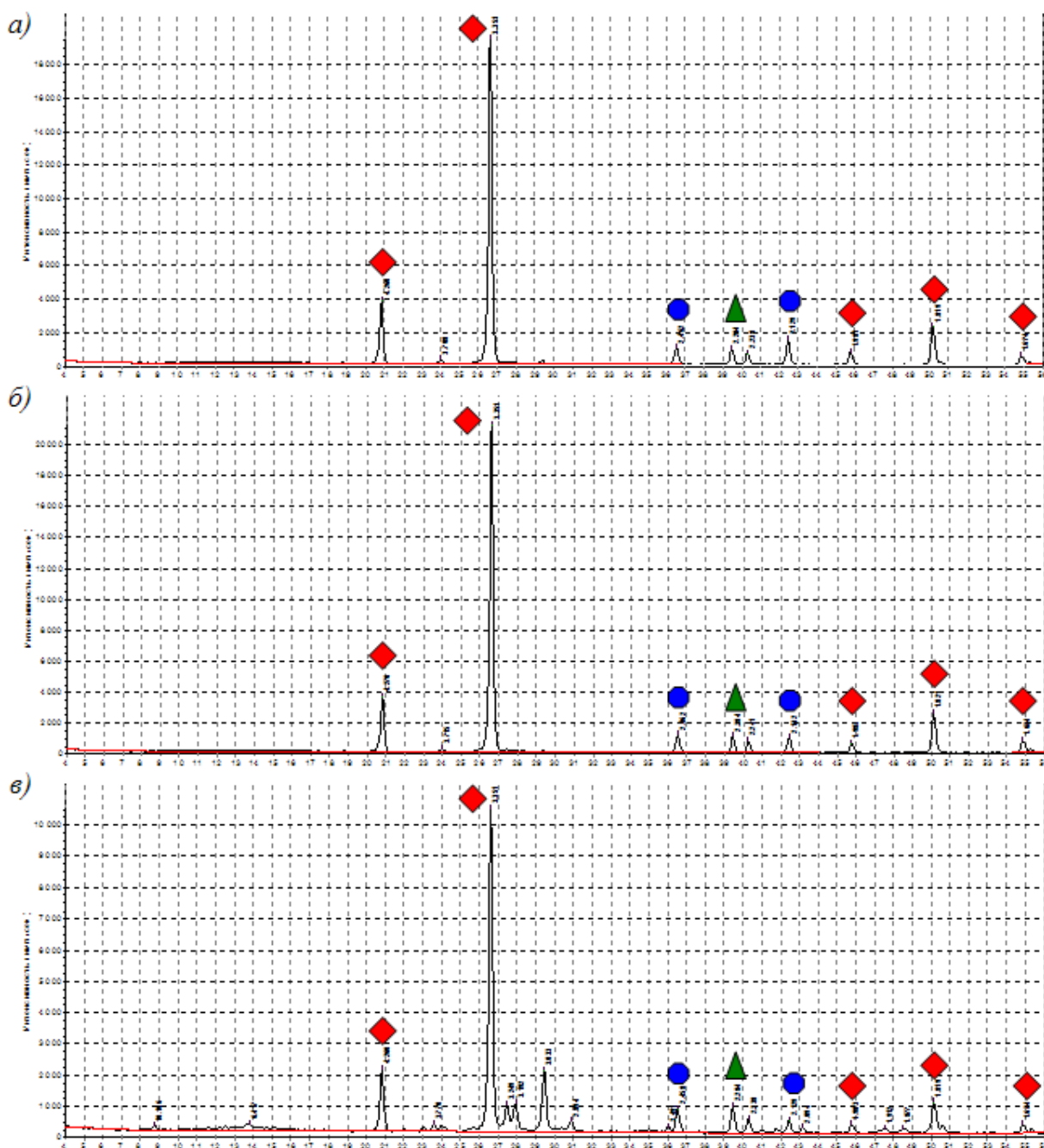


Рисунок 2.8. Рентгенограммы кварцевых песков: *а* – новотаволжанский песок;

б – песок курский; *в* – песок вяземский

◆ – β-кварц; ▲ – α-тридимит; ● – β-кристобалит

Таблица 2.5

Неорганические железоокисные пигменты

Пигмент LanXess	Маркировка
Красный	IOX R03 промышленная формула Bayferrox Red 110
Желтый	IOX Y02 промышленная формула Bayferrox 920
Коричневый	Bayferrox 610
Черный	IOX B03 промышленная формула Bayferrox 330
Оранжевый	Bayferrox 960
Синий	17891
Зеленый	C GS CHC 7004-1 Bayoxide оксид хрома

В качестве химических модификаторов использовали: «SikaPaver HC-1», «SikaPaver HC-26» производства ООО «Зика» (ТУ 2499-004-13613997-2008); «Ригоформ Базис» производства компании «Суперпласт»; «Murasan BWA 19» производства ООО «Эм-Си Баухеми» (ТУ 5745-076-51552155-2009); «RheoFIT 774» производства ЗАО «Басф»; «RheoFIT 740» суперпластификатор производства ЗАО «Басф»; «Полипласт Вибро» производства ОАО «Полипласт» (ТУ 5745-027-58042865-2008).

Основные технические характеристики модификаторов приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6

Основные технические характеристики применяемых модификаторов

Показатели	Характеристика
1	2
«SikaPaver HC-1»	
Основа	Смесь поверхностно-активных веществ
Внешний вид	Мутная жидкость светло-коричневого цвета
Плотность, г/см ³ (при 20°C)	1,00...1,01
Показатель активности водородных ионов (pH)	6,0...8,0
«SikaPaver HC-26»	
Основа	Смесь поверхностно-активных веществ
Внешний вид	Мутная однородная жидкость синего цвета
Плотность, г/см ³ (при 20°C)	1,005...1,015
Показатель активности водородных ионов (pH)	8,0...10,0
«Ригоформ Базис»	
Основа	Смесь эфиров карбоновых кислот различной молекулярной массы с поверхностно-активными веществами природного происхождения в сочетании с продуктами органического происхождения
Внешний вид	Однородная бесцветная жидкость
Плотность, г/см ³ (при 20°C)	1,19
Показатель активности водородных ионов (pH)	8,5 ± 1,5
«Murasan BWA 19»	
Основа	Смесь поверхностно-активных веществ
Внешний вид	Однородная жидкость белого цвета
Плотность, г/см ³ (при 20°C)	1,000...1,010
«RheoFIT 774»	
Основа	Смесь поверхностно-активных веществ и полимеров
Внешний вид	Синяя прозрачная жидкость
Плотность, г/см ³ (при 20°C)	1,000 ± 0,02
Показатель активности водородных ионов (pH)	8,5 ± 1,0

1	2
«RheoFIT 740»	
Основа	Смесь поверхностно-активных веществ
Внешний вид	Бесцветная жидкость
Плотность, г/см ³ (при 20°C)	1,000 ± 0,01
Показатель активности водородных ионов (pH)	8,0 ± 1,0
«Полипласт Вибро»	
Основа	Нафталинсульфокислота
Внешний вид	Жидкость коричневого цвета
Плотность, г/см ³ (при 20°C)	>1,15
Показатель активности водородных ионов (pH)	8,0 ± 1,0

Для исследований применяли воду техническую, удовлетворяющую требованиям ГОСТ 23732-2011 [127].

2.3. Выводы

1. В исследованиях применялись современные методы, обеспечивающие достоверность полученных результатов. Для изучения состава и структуры сырьевых компонентов и плит бетонных тротуарных использовались как высокоточные инструментальные методы исследований – РФА, растрово-электронная микроскопия, так и стандартные методики определения свойств сырья, смесей и бетонов.

2. Для получения долговечных тротуарных плит из вибропрессованного бетона использовали традиционные материалы, соответствующие требованиям нормативной документации: портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н производства ЗАО «Белгородский цемент»; песок кварцевый Курского, Новотаволжанского, Вяземского и Хохольского месторождений; щебень гранитный фракционированный Кировоградского гранитного карьера фракции 2...5 мм; щебень гранитный фракционированный Коломоевского гранитного карьера фракции 5...10 мм; неорганические железистые пигменты и оксид хрома торговой марки Bayferrox «Ланксесс Дойчланд ГмбХ» (Германия); добавки для производства изделий методом вибропрессования: «SikaPaver HC-1» и «SikaPaver HC-26» производства ООО «Зика»; «Ригоформ Базис» производства компания «Суперпласт»; «Murasan BWA 19» производства ООО «Эм-Си Баухеми»; «RheoFIT 774» и «RheoFIT 740» производства ЗАО «Басф»; «Полипласт Вибро» производства ОАО «Полипласт».

3. ЖЕСТКИЕ БЕТОННЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ВИБРОПРЕССОВАННЫХ ПЛИТ ТРОТУАРНЫХ

Оптимизации жестких бетонных смесей в производственных условиях с учетом требований к свойствам продукции и по экономическим причинам, придается большое значение. В основе разработки долговечных вибропрессованных плит тротуарных лежат параметры, определяемые накопленным опытом и оригинальной рецептурой производителя, учитывающие наряду с показателями качества продукции, экономические факторы в отношении состава, затрат на сырье, производственных условий и технических возможностей. На практике состав бетонной смеси подбирается в зависимости от доступности и стоимости тех или иных сырьевых материалов и от технологической возможности технологической линии. Чтобы выполнить требования по оптимизации энергетических и производственных затрат, а также снизить при этом производственные издержки, оптимизация должна быть комплексной, включающей улучшение свойств жестких бетонных смесей (рисунок 3.1).

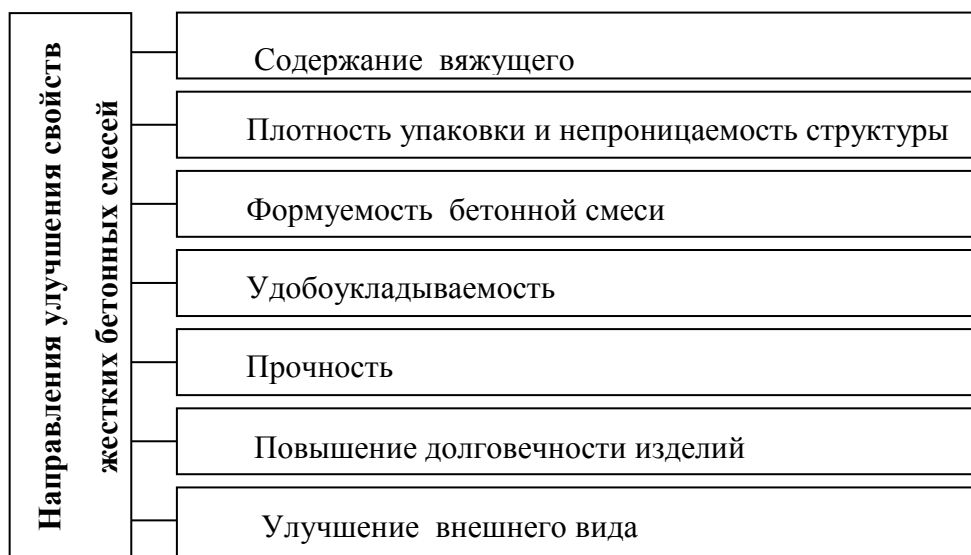


Рисунок 3.1. Комплексная оптимизация жестких бетонных смесей

Основными факторами, влияющими на цвет плит бетонных тротуарных, изготовленных методом полусухого вибропрессования являются: сырьевые компоненты, состав и водоцементное отношение бетонной смеси.

3.1. Гранулометрия заполнителей бетонной смеси для вибропрессованных бетонов

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 [128].

Гранулометрический состав может быть улучшен двумя 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 реальных условиях производства, где используется реальный песок и щебень, подбираются такие идеальные кривые отсева, чтобы было возможно некоторое отклонение.

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 свежееотформованных 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 [41, 57, 129, 130] 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 рисунке 3.2.

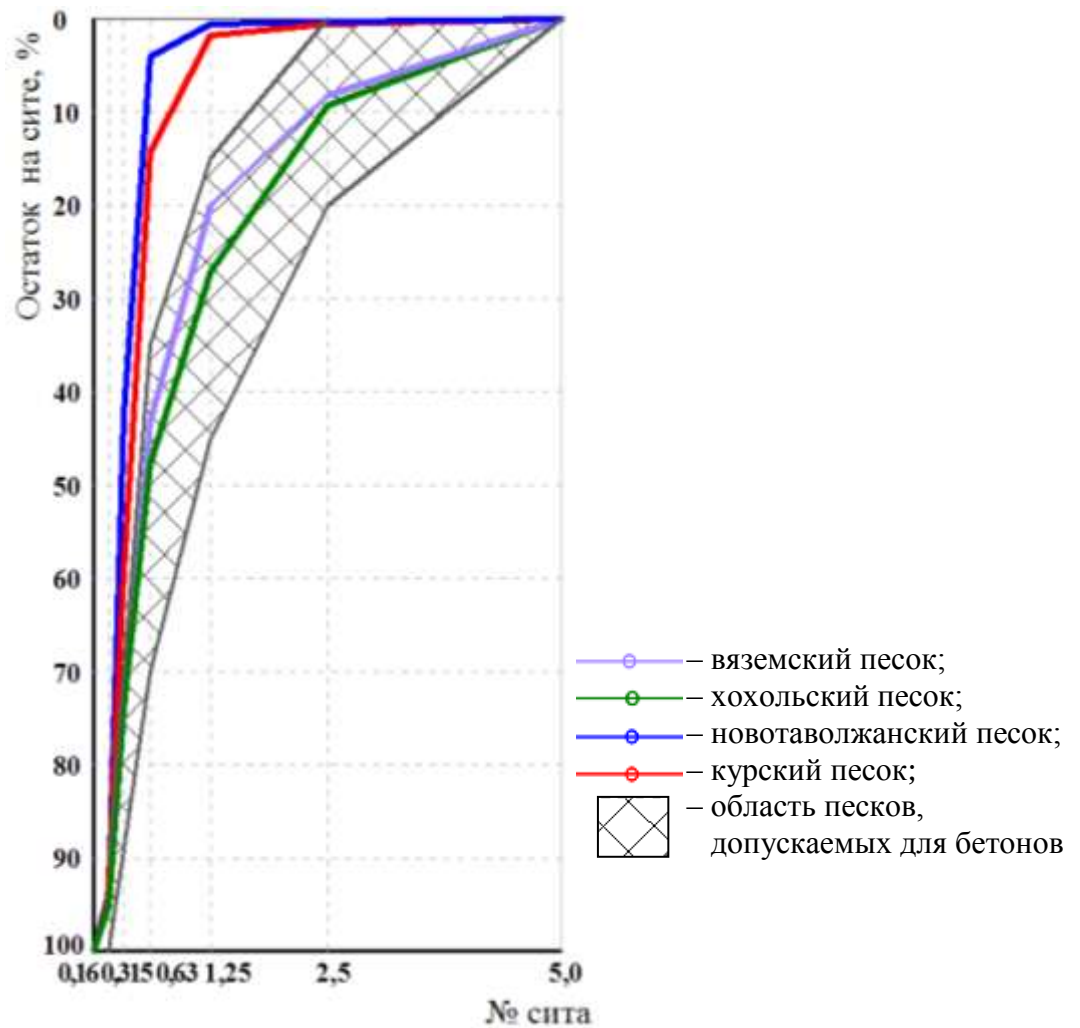


Рисунок 3.2. Кривые просеивания кварцевых песков

В область допустимых значений (рисунок 3.2) входит песок только Хохольского и Вяземского месторождений, однако, учитывая стоимостной показатель сырьевых материалов, экономически эффективно будет разработать такую смесь песков, кривая отсева которых будет входить в область допустимых значений.

Зерновые составы колмоевского щебня фракции 5...10 мм и кировоградского фракции 2...5 мм приведены в таблицах 3.1, 3.2 и на рисунке 3.3.

Таблица 3.1

Зерновой состав колмоевского 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 3.2

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	—

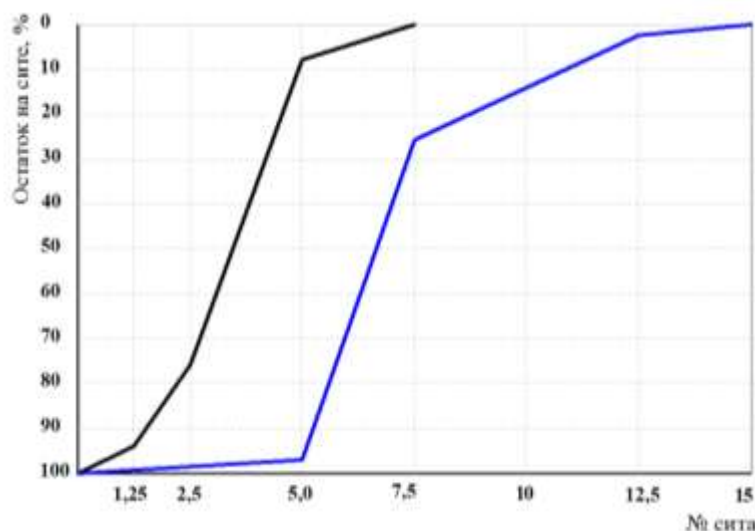


Рисунок 3.3. Кривые просеивания щебня фракций 2...5мм (—) и 5...10 мм (—)

Анализ полученных кривых просеивания кварцевых песков и гранитного щебня позволит разработать смесь заполнителей с оптимальной гранулометрией (рисунок 3.3).

3.2. Уплотнение состава крупного заполнителя смесью мелкого заполнителя

Определение оптимального гранулометрического 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 гранулометрического состава заполнителя с наибольшей плотностью упаковки его частиц применяют метод Фурнаса [131], 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 наиплотнейших 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 [132].

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 [133].

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:

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

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

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 [134] 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 $\beta_2 = 1$:

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

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

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

$$\varphi_1 = 100 - 28,6 = 71,4\%.$$

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. 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

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

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

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

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

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

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

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

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

Внесена поправка для смеси, находящейся в поле гравитации при виброуплотнении в расчет расхода песка, при $\beta_2 = \left(\frac{\eta_{uc}}{\eta_n} \right) \frac{\rho_n}{\rho_{uc}}$:

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

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

$$\varphi_{песка} = 100(1 - \eta_{1uc}) \cdot \left(\frac{\rho_n}{\rho_{uc}} \right)^2, \text{ тогда } \varphi_{\max} = 100(1 - \eta_{uc}) \cdot \left(\frac{\rho_n}{\rho_{uc}} \right)^2 \cdot \left(\frac{P_n}{P_{uc}} \right)^{2-1},$$

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 $\left(\frac{\eta_n}{\eta_{uc}} \right)^{n-1}$, 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 отсева в область допустимых значений попадают кривые отсева смеси курского и вяземского песков в соотношениях 10/90 и 20/80 (рисунок 3.4).

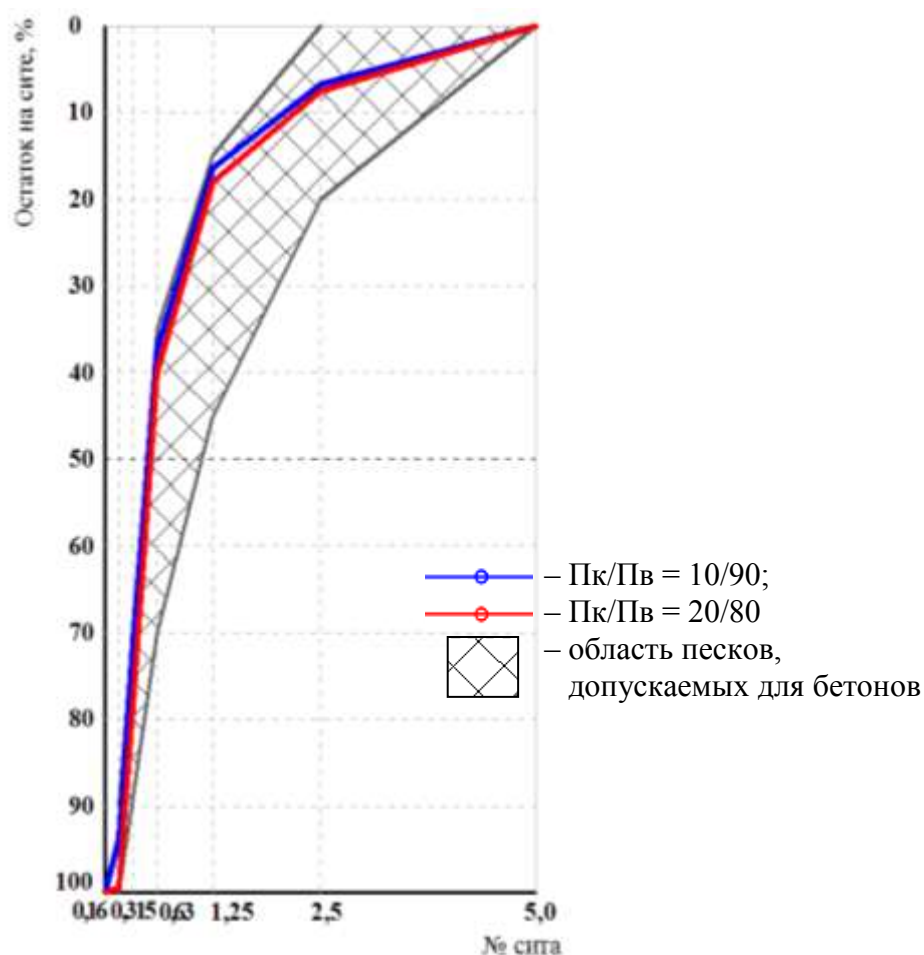


Рисунок 3.4. Кривые просеивания смеси курского и вяземского песков

Экспериментальным путем определяли состав смеси кварцевых песков, пустотность которой будет минимальной (таблица 3.3, рисунок 3.5).

Таблица 3.3

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

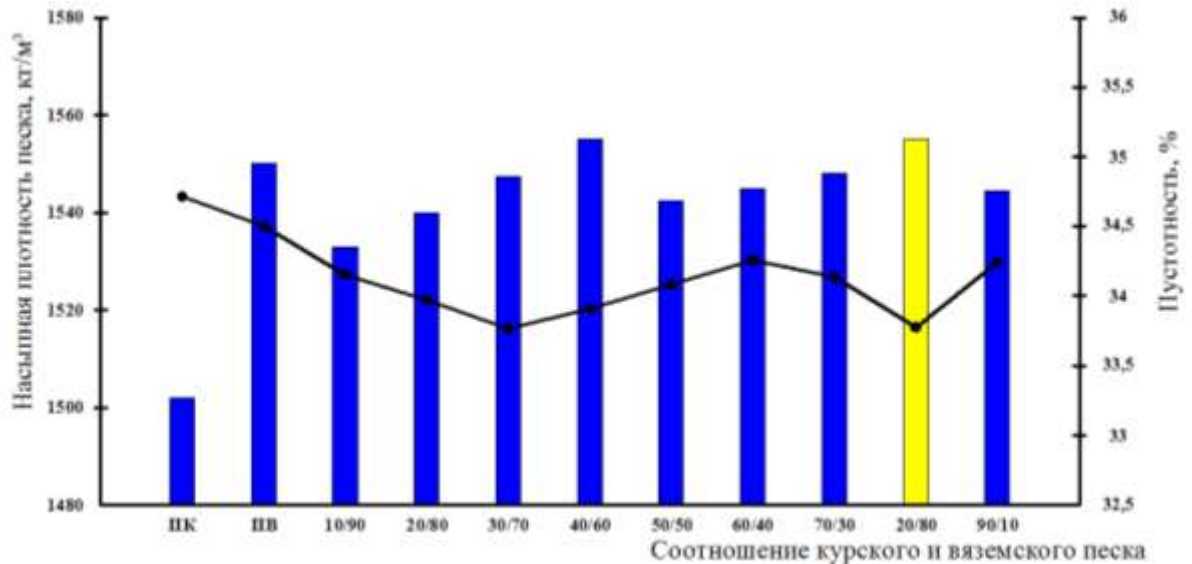


Рисунок 3.5. Показатели насыпной плотности и пустотности смеси кварцевых песков:
■ – плотность; —●— – пустотность; ■ – оптимум

Из таблицы 3.3 и рисунка 3.5 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 (таблица 3.4 и рисунок 3.6).

Из таблицы 3.4 и рисунка 3.6 видно, что оптимальным соотношением фракций щебня 2...5 мм и 5...10 мм будет соотношение $Щ_{2...5}/Щ_{5...10} = 30/70$.

Таблица 3.4

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

Минимальная пустотность мелкого и крупного заполнителей, исходя из подобранных смесей песков и смесей щебня различных фракций, представлена на рисунке 3.7.

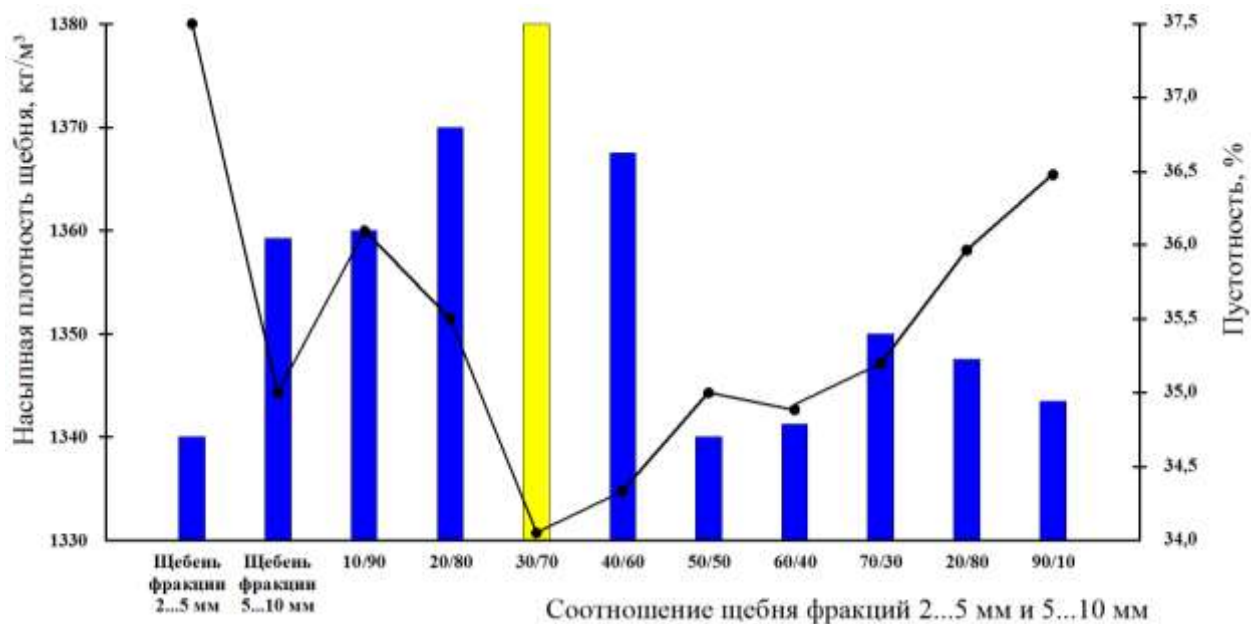


Рисунок 3.6. Показатель насыпной плотности и пустотности смеси фракций щебня 2...5 мм и 5...10 мм: ■ – плотность; ● – пустотность; ■ – оптимум

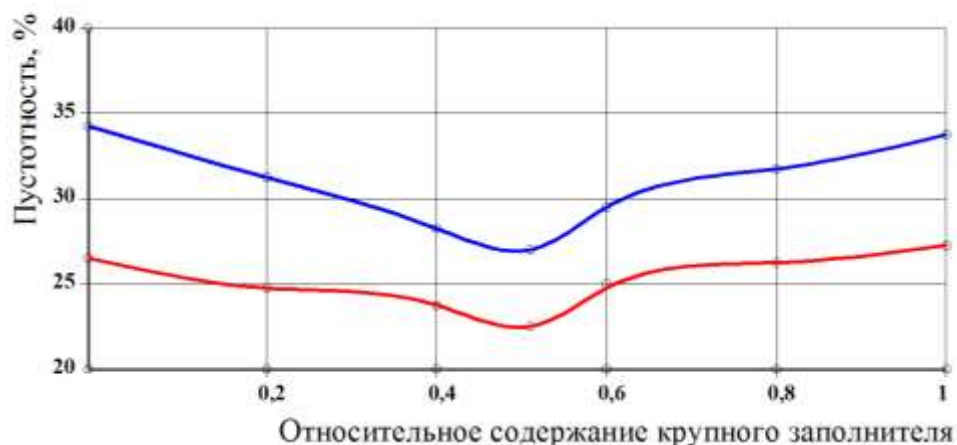


Рисунок 3.7. Изменение пустотности смеси мелкого и крупного заполнителя: — свободноуложенная система; — виброуплотненная система

Согласно рисунку 3.7, оптимальным является соотношение Щебень/Песок = 53/47.

Полученные данные позволяют полагать, 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 (таблица 3.5).

Таблица 3.5

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 36,4 МПа.

Результаты проведенного эксперимента приведены в таблицах 3.6, 3.7 и на рисунке 3.8.

Таблица 3.6

Свойства свежесформованных плит бетонных тротуарных

№ состава	Коэффициент уплотнения бетонной смеси, K_v	Прочность на сжатие свежесформованного образца $R_{сж}$, МПа	Плотность свежесформованного образца ρ_c , 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 3.7

Свойства вибропрессованных плит тротуарных

№ состава	$R_{сж\ 3}$, 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

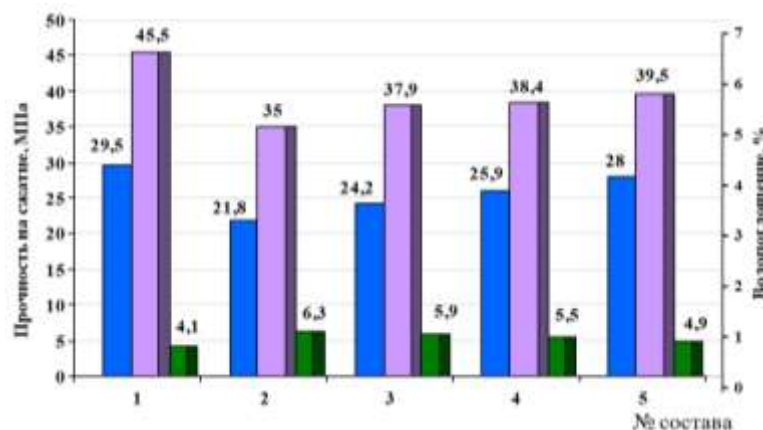


Рисунок 3.8. Свойства вибропрессованных плит тротуарных:

■ – прочность на сжатие, $R_{сж\ 3}$; ■ – 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 (рисунок 3.9).

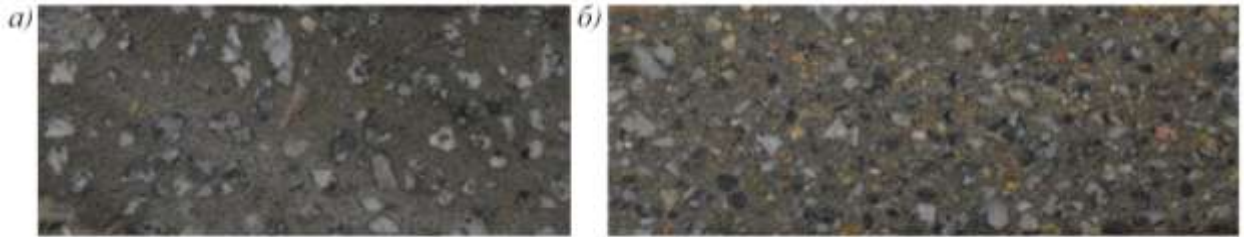


Рисунок 3.9. Образцы вибропрессованных плит тротуарных контрольного состава (а) и разработанного состава (б)

В отличие от контрольных образцов с неравномерно распределенным заполнителем (рисунок 3.9, а), в образцах с рациональной гранулометрией (рисунок 3.9, 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.

3.3. Оценка влияния модификаторов на свойства вибропрессованных бетонов

Для получения долговечных вибропрессованных плит бетонных тротуарных необходимо привести в соответствие заполнители, вяжущее, а также предусмотреть применение модификатора, наряду с оптимизацией гранулометрического состава жесткой бетонной смеси.

Тщательный подбор водоцементного отношения и его соблюдение в технологическом процессе производства позволяет избежать разнотонности готовой продукции.

Вода в составе бетонной смеси необходима не только для протекания химических процессов, но и для создания обмазывающей прослойки из цементного теста на поверхности зерен заполнителя, облегчающей уплотнение смеси. Чем мощнее средство для уплотнения жесткой бетонной смеси, тем более жесткая смесь может быть уплотнена. Учитывая все параметры вибропресса, жесткость бетонной смеси может составлять 120...160 с. Для этого бетонная смесь должна иметь низкое водоцементное

отношение (от 0,3 до 0,4), при этом содержание цемента, как правило, составляет от 300 до 500 кг/м³, а при необходимости выше [2].

Вибропрессованная смесь характеризуется низким содержанием цементного теста, которое необходимо для обволакивания зерен заполнителя. Обычные подвижные бетонные смеси при таком же содержании цемента имеют более высокое водоцементное отношение и большее количество цементного теста, причем его вязкость за счет водоцементного отношения понижается [135].

Проведены исследования зависимости прочности бетона от водоцементного отношения жестких бетонных смесей.

В вибропрессованных бетонах наблюдается взаимосвязь между свежеприготовленным и затвердевшим бетоном, а также высокая степень зависимости этих свойств от водоцементного отношения.

Определяли оптимальное значение водоцементного отношения. В качестве параметра оптимизации выступали: показатель прочности на сжатие свежееотформованной плиты тротуарной и показатель прочности на сжатие вибропрессованной плиты тротуарной в 28-суточном возрасте.

Принят контрольный состав бетонной смеси с рациональной гранулометрией и лучшими показателями по прочности (таблица 3.8).

Таблица 3.8

Контрольный состав жесткой бетонной смеси

Расход материалов, кг/м ³				
цемент ЦЕМІ42,5Н	песок курский	песок вяземский	щебень фракции 2...5 мм	щебень фракции 5...10 мм
380	176	706	299	697

Зависимости прочности на сжатие свежееотформованных вибропрессованных плит бетонных тротуарных и в 28-суточном возрасте представлены в таблице 3.9 и на рисунках 3.10, 3.11.

Таблица 3.9

Прочность на сжатие свежееотформованного вибропрессованного бетона и в возрасте 28 сут от В/Ц

Прочность	В/Ц						
	0,3	0,32	0,34	0,36	0,38	0,4	0,42
Прочность свежееотформованного бетона R _{сж} , МПа	0,4	0,42	0,46	0,47	0,48	0,463	0,44
R ₂₈ , МПа	39,0	39,6	40,5	42,6	43,1	42,1	41,0

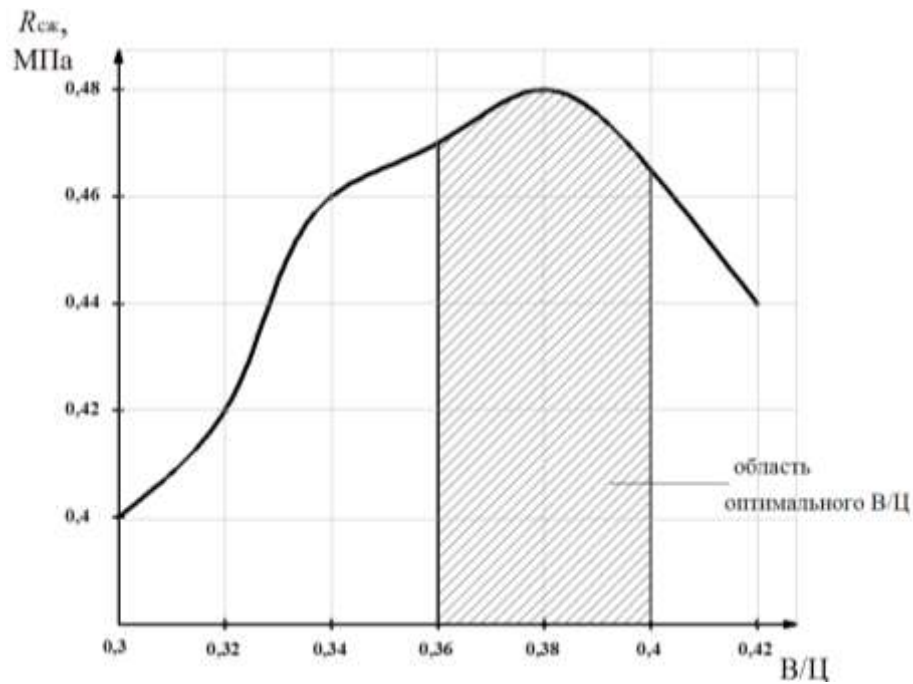


Рисунок 3.10. Зависимость прочности на сжатие свежотформованного вибропрессованного бетона от водоцементного отношения

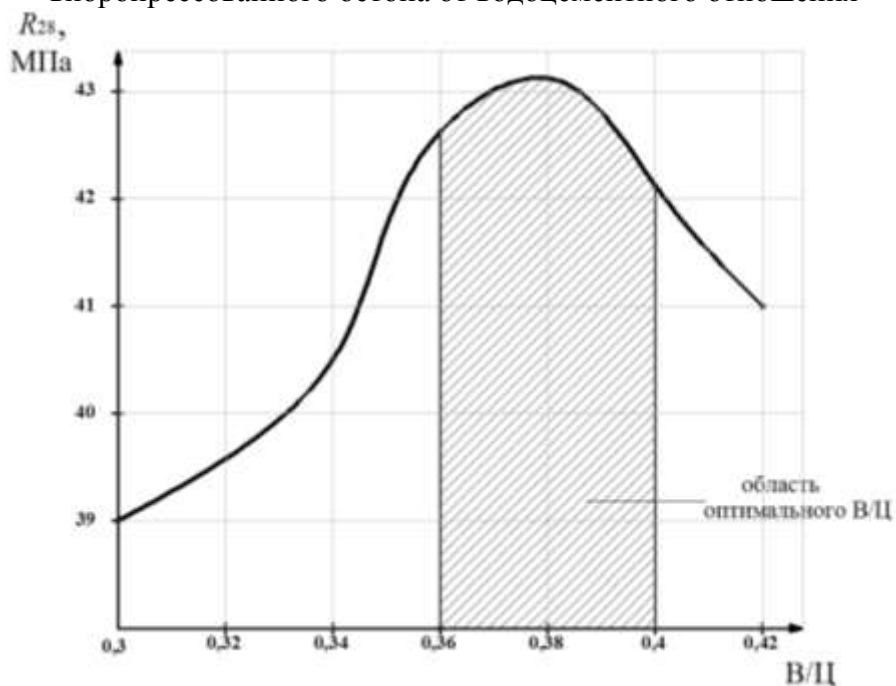


Рисунок 3.11. Зависимость прочности на сжатие вибропрессованного бетона в возрасте 28 сут от водоцементного отношения

Из рисунков 3.10 и 3.11 видно, что максимальная прочность на сжатие свежотформованного и затвердевшего бетонов обеспечивается только в ограниченной области оптимального водоцементного отношения от 0,36 до 0,4.

Использование различных модификаторов позволяет снизить расход цемента, уменьшить водопоглощение, увеличить морозостойкость и, как следствие, позволяет получить долговечные изделия. Что касается производства изделий методом вибропрессования и использования при этом

жестких бетонных смесей, то, в этом случае, применение модификаторов становится необходимостью.

Получение вибропрессованных плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей возможно путем модифицирования структуры цементного камня, с одной стороны, в сочетании с оптимально подобранной гранулометрией, позволит получить плотную упаковку и однородную структуру, а с другой, с учетом подобранных параметров вибропрессования, улучшить удобоукладываемость смеси и ее уплотняемость.

Исследования проводили в два этапа. Первоначально исследовались свойства вибропрессованного бетона для облицовочного слоя с различными модификаторами, затем – бетона для основного слоя.

На первом этапе для определения прочности на сжатие были изготовлены образцы-кубы мелкозернистых бетонов размером 100×100×100 мм класса В30. В качестве контрольного состава выступал бездобавочный состав. Добавки вводились в количестве 0,4 % от количества вяжущего. Состав рассчитывался по методу абсолютных объемов. Жесткость смеси 50 с.

Составы вибропрессованного бетона для облицовочного слоя образцов и результаты определения прочности на сжатие в условиях естественного твердения в возрасте 3 и 28 сут представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10

**Прочность вибропрессованного бетона для облицовочного слоя
в зависимости от вида модификатора**

Номер состава	Расход материалов, кг/м ³				В/Ц	Модифицирующая добавка, г/м ³							Прочность на сжатие, МПа, в возрасте	
	цемент	песок вяземский	песок курский	вода		«SikaPaver HC-1»	«SikaPaver HC-26»	«Ригоформ Базис»	«Murasan BWA 19»	«RheoFIT 774»	«RheoFIT 740»	«Полипласт Вибро»	3 сут	28 сут
1	500	1320	330	200	0,4	–	–	–	–	–	–	–	31,0	50,1
2	460	1360	340	156	0,34	1,84	–	–	–	–	–	–	33,9	55,1
3	460	1360	340	175	0,38	–	1,84	–	–	–	–	–	30,1	50,5
4	460	1360	340	166	0,36	–	–	1,84	–	–	–	–	29,8	51,0
5	460	1360	340	175	0,38	–	–		1,84	–	–	–	35,4	67,1
6	460	1360	340	179	0,39	–	–	–	–	1,84	–	–	32,3	58,1
7	460	1360	340	161	0,35	–	–	–	–	–	1,84	–	29,0	50,8
8	460	1360	340	152	0,33	–	–	–	–	–	–	1,84	31,0	59,4

По итогам эксперимента установлено, что комплексное сочетание добавки Murasan BWA19, оптимального В/Ц и скорректированной гранулометрии заполнителя позволяет значительно улучшить прочностные характеристики мелкозернистого бетона во все сроки испытания (рисунок 3.12).

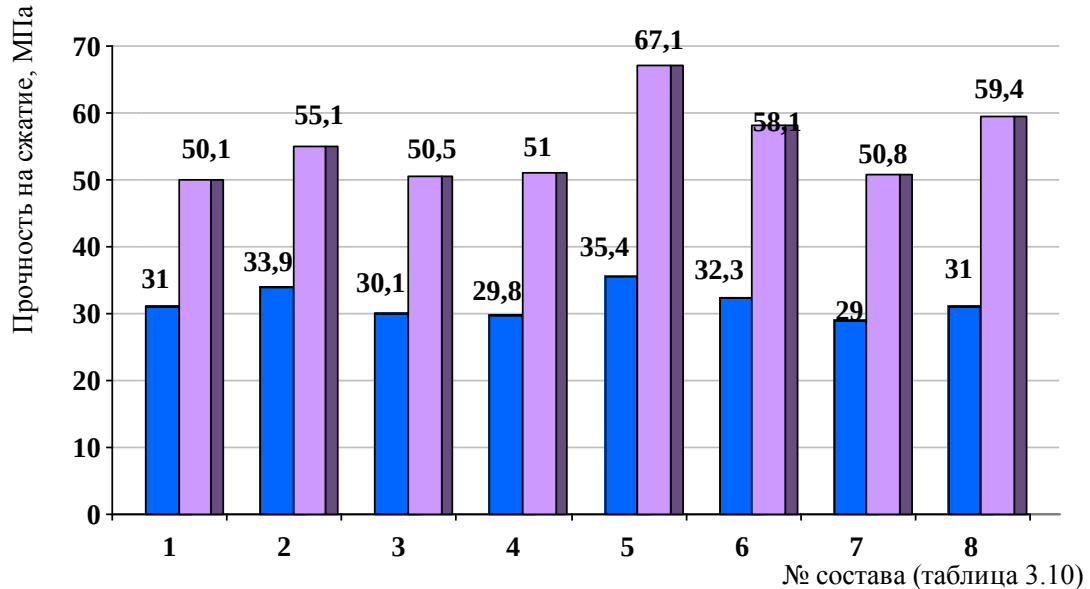


Рисунок 3.12. Влияние модификаторов на прочность при сжатии вибропрессованного бетона класса В30 в возрасте: ■ – 3 сут; ■ – 28 сут

Как видно из рисунка 3.12 бетон с добавкой Murasan BWA19 позволяет уже в возрасте 3-х сут получать 88 % прочности бетона. При дальнейшей выдержке прочность значительно возрастает и в возрасте 28 сут составляет 167 % от прочности проектного класса В30. Это может быть связано с тем, что межзерновая пустотность песка даже оптимального отсева превышает пустотность смеси крупного и мелкого заполнителей, что приводит к повышенному расходу цемента для получения слитной структуры. В случае снижения расхода цемента (цементного теста) каждая частица песка оказывается обмазанной все более тонким слоем теста с нехваткой его для полного заполнения пустот. Вследствие воздействия флокуляционных сил, частицы обмазанного песка склеиваются друг с другом с образованием межзерновых макропор, расположенных в объеме хаотично, и смесь становится крайне неоднородной по структуре и свойствам. При этом ухудшаются показатели прочности, водопоглощения, морозостойкости и, как следствие, долговечности. Все это вынуждает сохранять расход цемента в смеси стабильно высоким.

Снизить расход цемента позволяет применение модификаторов, при этом пористость, вследствие нехватки цемента, сохраняется, но она приобретает совершенно иной характер, чем в бездобавочных смесях.

Добавка модификатора Murasan BWA 19 представляет собой ПАВ с гидрофобизирующим эффектом, адсорбируясь на поверхности цементных частиц, ориентируется таким образом, что гидрофильные полярные группы, включающие анионы, хемосорбционно связываются с гидратирующей поверхностью зерен цемента, а гидрофобные углеводородные радикалы обращены к воде. Таким образом, добавка создает на поверхности цемента «частокол» ориентированных молекул. Гидрофобные радикалы, заряженные положительно способствуют вовлечению воздуха в виде пузырьков заряженных отрицательно. Снижение поверхностного натяжения на границе «воздух-жидкость», что имеет место при введении добавки, способствует устойчивой стабилизации пузырьков с ничтожно малыми размерами и с идеальной сферической формой. Эти пузырьки и заполняют недостающий объем, вследствие снижения расхода цемента. По сути, образуются такие же флоккулы, но электростатические связи между цементными зернами и сольватными оболочками оказываются здесь замененными более слабыми коагуляционными связями между положительными метильными группами гидрофобной составляющей молекул ПАВ, и при приложении прессующего усилия они становятся плоскостями скольжения, облегчая прессование и делая его более однородным. Кроме того, мельчайшие сферические пузырьки воздуха выполняют роль подшипников скольжения, также облегчая прессование и создавая равномерное распределение прессующего усилия. Именно поэтому, создание такой упорядоченной мелкопористой структуры со сферическими пузырьками не только не приводит к снижению прочности, а в ряде случаев дает значительное ее превышение по сравнению со смесями на более высоких расходах цемента и без добавки [136].

Хуже всего проявили себя добавки суперпластификаторы «Полипласт Вибро» и «RheoFIT 740», что связано с тем, что бетонная смесь с этими добавками не попадает в область оптимального водоцементного отношения.

Определение оптимальной дозировки модификатора Murasan BWA 19 осуществляли исходя из определения минимального расхода добавки и максимальных прочностных характеристик мелкозернистого вибропрессованного бетона в возрасте 28 сут. Результаты испытания приведены на рисунке 3.13.

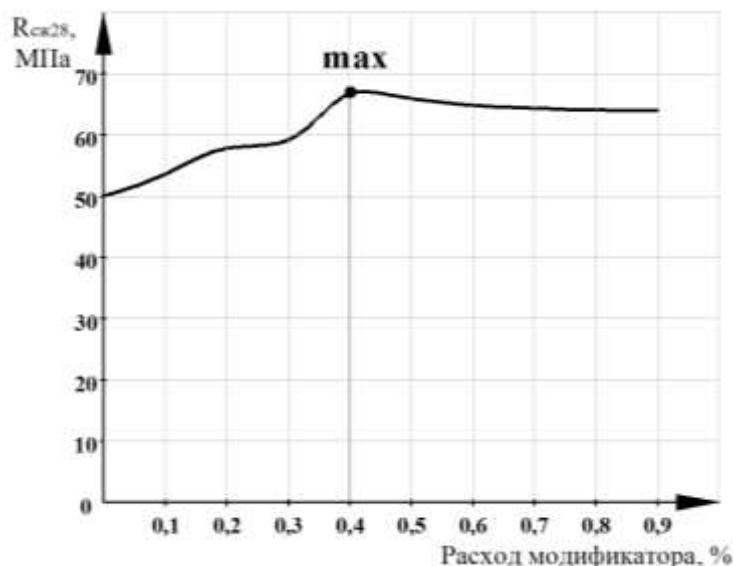


Рисунок 3.13. Зависимость прочности мелкозернистого бетона от расхода модификатора Murasan BWA 19

Разработан состав мелкозернистого бетона для облицовочного слоя вибропрессованной плиты тротуарной с модификатором Murasan BWA 19 (таблица 3.11) с пониженным расходом цемента на 8 % по сравнению с бездобавочным составом и высокими прочностными характеристиками.

Таблица 3.11

Оптимальный состав мелкозернистого бетона облицовочного слоя вибропрессованных плит тротуарных

Расход материалов, кг/м ³					В/Ц
ЦЕМ I 42,5 Н	песок вяземский	песок курский	вода	Murasan BWA19	
460	1360	340	175	1,84	0,38

На втором этапе проведены сравнительные испытания влияния модификаторов на прочность вибропрессованного бетона для основного слоя. На технологической линии «HESS» была изготовлена партия однослойной вибропрессованной плиты тротуарной размером 9,8×19,8×6,0 см из тяжелого бетона с оптимально подобранной гранулометрией заполнителя. Дозировка модификатора составила 0,4 % от массы цемента (таблица 3.12). Изделия были заформованы при постоянных параметрах вибропрессования.

Таблица 3.12

Составы основного слоя вибропрессованной плиты тротуарной

Номер состава	Расход материалов, кг/м ³						В/Ц	Модификаторы, кг/м ³						
	цемент	песок вяземский	песок курский	щебень фракции 2...5 мм	щебень фракции 5...10 мм	вода		«SikaPaver HC1»	«SikaPaver HC-26»	«Ригоформ Базис»	«Murasan BWA 19»	«RheoFIT 774»	«RheoFIT 740»	«Полипласт Вибро»
1	380	706	176	299	697	152	0,4	–	–	–	–	–	–	–
2	320	736	184	311	727	112	0,35	1,3	–	–	–	–	–	–
3	320	736	184	311	727	125	0,39	–	1,3	–	–	–	–	–
4	320	736	184	311	727	118	0,37	–	–	1,3	–	–	–	–
5	320	736	184	311	727	122	0,38	–	–	–	1,3	–	–	–
6	320	736	184	311	727	125	0,39	–	–	–	–	1,3	–	–
7	320	736	184	311	727	115	0,36	–	–	–	–	–	1,3	–
8	320	736	184	311	727	118	0,37	–	–	–	–	–	–	1,3

Немаловажными показателями качества бетона при производстве изделий методом вибропрессования являются не только основные физико-механические характеристики бетонного изделия, но и такие параметры, как удобоукладываемость, прочность свежесжатого вибропрессованного бетона и коэффициент уплотнения жесткой смеси.

Параметром оценки удобоукладываемости жесткой бетонной смеси было время, затрачиваемое на пропрессовку изделия до высоты 60 мм (рисунок 3.14). Тип вибрации и давление пуансона при этом оставались постоянными для всех составов.

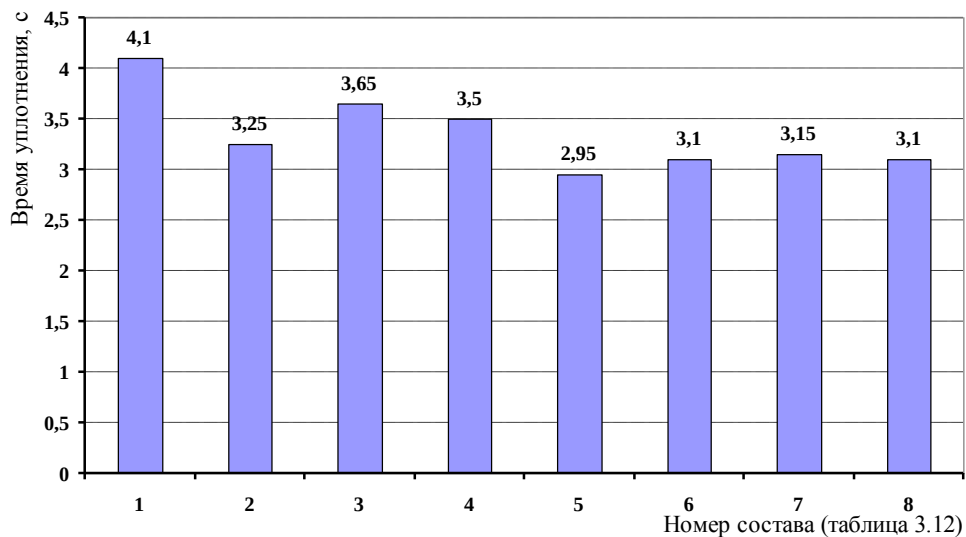


Рисунок 3.14. График зависимости времени уплотнения от состава вибропрессованного бетона

Технологически производство вибропрессованной плиты тротуарной предполагает необходимость немедленной распалубки и транспортировки в камеру для твердения сразу после формования. При этом они должны держать форму и не иметь повреждений. Предпосылкой для немедленной распалубки является высокая начальная прочность свежесформованного изделия. Она служит главным критерием выгодного серийного производства и достигается, главным образом, за счет существенно более низкого содержания воды, по сравнению с обычными бетонами, соответствующей оптимально подобранной рецептуры и правильно подобранной технологии формования и уплотнения.

Основные технические характеристики свежесформованных образцов разных составов приведены в таблице 3.13.

Таблица 3.13

Технические характеристики свежесформованных образцов

№ состава (таблица 3.12)	Коэффициент уплотнения бетонной смеси K_y	Прочность на сжатие свежесформованного образца $R_{сж}$, МПа	Плотность свежесформованного образца ρ_c , кг/м ³
1	0,98	0,61	2365
2	0,97	0,6	2320
3	0,96	0,54	2307
4	0,97	0,59	2324
5	0,98	0,65	2352
6	0,98	0,6	2355
7	0,96	0,55	2297
8	0,98	0,61	2348

Из таблицы 3.13 видно, что образцы с применением модификатора Murasan BWA 19 имеет высокую среднюю плотность, максимальные прочность на сжатие и коэффициент уплотнения бетонной смеси. Однако, следует отметить, что, помимо модификатора, основное влияние на технические характеристики свежесформованных образцов оказывает рационально подобранное водоцементное отношение и гранулометрический состав заполнителя. При соответствующем уплотнении свежесформованный образец имеет высокую плотность упаковки и высокую начальную прочность, при этом определяющими являются

возникновение сил сцепления между контактными зонами зерен и сцепление за счет развитой шероховатой поверхности заполнителя.

Система «свежеприготовленная жесткая бетонная смесь» может быть описана при помощи взаимосвязей и законов механики грунтов. При этом, решающее значение имеют следующие факторы: когезия и внутреннее трение между частицами, форма зерен и их сцепление, а также плотность упаковки. В данном контексте цемент может упрощенно рассматриваться как инертный тонкодисперсный материал, который оказывает большое влияние на водопотребность смеси, а также на уплотняемость свежей бетонной смеси. Поэтому, в данном случае добавку нужно рассматривать, как фактор, влияющий напрямую на уплотняемость жесткой бетонной смеси, и лишь косвенно, влияющую на коэффициент уплотнения и расплывчатую прочность.

Применение модификаторов «SikaPaver HC-1», «Ригоформ Базис», «RheoFIT 740» и «Полипласт Вибро» привело к уменьшению, а модификатора «RheoFIT 774» к увеличению водоцементного отношения относительно оптимального, и как следствие, к ухудшению основных характеристик свежесформованных изделий относительно контрольного состава.

Для дальнейшей оценки влияния модификаторов на свойства вибропрессованных изделий были проведены испытания по оценке прочностных характеристик затвердевших бетонных изделий на ранних сроках твердения и в проектном возрасте и водопоглощения, результаты которых приведены в таблице 3.14.

Таблица 3.14

Влияние модификаторов на основные технические характеристики вибропрессованных образцов

№ состава (таблица 3.12)	Прочность на сжатие бетона в возрасте 1 сут R_1 , МПа	Прочность на сжатие бетона в возрасте 28 сут R_{28} , МПа	Водопоглощение бетонных образцов, %
1	25,1	43,1	4,1
2	25,9	45,1	4,1
3	26,0	43,4	4,1
4	25,3	44,0	4,2
5	32,5	52,0	3,7
6	26,1	48,4	4,0
7	25,4	44,9	4,1
8	26,5	49,3	3,9

В качестве оценки прочностных характеристик вибропрессованных плит тротуарных на ранних сроках твердения предложена прочность в возрасте 1 сут. Оценка прочности на столь раннем сроке связана с необходимостью отгрузки вибропрессованных изделий потребителю как можно быстрее, но в соответствии с требованиями ГОСТ 17608-91. Значение нормируемой отпускной прочности тяжелого бетона плит должно составлять 90 % от класса бетона по прочности на сжатие и класса бетона по прочности на растяжение при изгибе в холодный период года и 70 % – в теплый период года.

На качество затвердевшего бетона, прежде всего, существенно влияют те же факторы, что и в случае свежеприготовленной бетонной смеси, в частности, количество цемента, содержание воды, вид и объемная доля заполнителей, плотность упаковки. Другими факторами влияния, связанными преимущественно с гидратацией цемента, является степень гидратации, реакционная способность вяжущего, а также сцепление между заполнителем и матрицей связующего. Максимальная плотность упаковки, оптимальное качество структуры и максимальная прочность при сжатии сырого, а также затвердевшего бетона обеспечивается только в сильно ограниченной области оптимального (для уплотнения) содержания воды. Такая тесная взаимосвязь свойств свежеприготовленного и затвердевшего бетона характерна для жесткой бетонной смеси, как и сильная зависимость всех этих свойств от воды.

Получаемая путем заполнения пустот плотность упаковки крупных и мелких заполнителей влияет на свойства затвердевшего жесткого бетона в гораздо большей степени, чем на свойства обычного бетона. При увеличении плотности упаковки в результате оптимально подобранного гранулометрического состава, водоцементного отношения и модификатора, связь между массой тонкого и грубого помола возрастает, продуктам реакции в результате гидратации цемента приходится заполнять меньше пустот и прочность возрастает.

В силу своего низкого водоцементного отношения и достаточно высокого содержания цемента, жесткие бетоны при достаточном содержании воды проявляют повышенную тенденцию к дополнительной гидратации. Этот процесс зависит от В/Ц отношения, марки цемента, типа добавки, условий формования и твердения. В результате гидратации микроструктура уплотняется дополнительно, и, в конечном итоге, обеспечивается достаточно высокая для практического применения прочность жесткого бетона.

Как и предполагалось, введение в трехкомпонентную систему «вяжущее-заполнитель-вода» четвертого компонента – добавки, привело к изменению основных физико-механических характеристик вибропрессованных бетонных изделий.

Модификация бетона добавкой Murasan BWA 19 привела к значительному увеличению прочностных характеристик, как на раннем сроке твердения, так и в проектном возрасте. Снижение водопоглощения бетонных образцов позволит улучшить показатель морозостойкости бетона, повысит долговечность и обеспечит стабильность декоративных свойств плит бетонных тротуарных.

3.4. Составы и свойства вибропрессованных плит бетонных тротуарных

В последние годы широкое распространение получило производство двухслойных вибропрессованных плит тротуарных с требуемыми физико-механическими показателями, точными геометрическими параметрами и высокой архитектурной выразительностью.

Несмотря на то, что в соответствии с требованиями ГОСТ 17608-91 «Плиты бетонные тротуарные. Технические условия», двухслойные плиты должны изготавливаться с толщиной верхнего слоя бетона не менее 20 мм, современные производители вибропрессованных плит тротуарных руководствуются разработанными техническими условиями предприятия. В частности для ООО «БЗ АрБет» ТУ 5746-001-62636323-2013 (приложение 1) и выпускают изделия с толщиной облицовочного слоя не менее 10 % от общей высоты изделия. Исходя из накопленного опыта производства и

эксплуатации двухслойных вибропрессованных плит тротуарных, был сделан вывод о том, что такой толщины облицовочного слоя достаточно для получения качественного изделия.

Тем не менее, наряду с экономическими преимуществами такой продукции, возникает целый ряд технологических проблем, связанных с оценкой качества и проверки основных технических характеристик облицовочного слоя. Учитывая тот факт, что в последнее время особое внимание уделяется такой комплексной характеристике качества материала, как долговечность, получение двухслойных изделий с облицовочным слоем повышенной эксплуатационной надежности, является одной из основных технологических и производственных задач.

На производственном вибропрессе HESS «Multimat RH-1500» на стабильных и отработанных параметрах вибропрессования были отформованы образцы двухслойных плит тротуарных по подобранным составам (таблица 3.15).

Таблица 3.15

**Разработанные составы бетона
для вибропрессованных плит бетонных тротуарных**

Слой	Расход материала, кг/м ³						В/Ц
	ЦЕМ I 42,5Н	песок курский	песок вяземский	щебень фракции 2...5 мм	щебень фракции 5...10 мм	Murasan BWA-19	
Основной	320	184	736	311	727	1,3	0,38
Облицовочный	460	340	1360	—	—	1,84	0,38

При исследовании основных физико-механических свойств вибропрессованных двухслойных элементов мощения, оценивалось качество готового изделия, как единого целого, не отделяя один слой от другого, несмотря на то, что эти слои имеют разные технические характеристики. Следует обратить внимание на то, что принимая продукцию по качеству, фактической оценки на прочность, морозостойкость и водопоглощение подлежит основной (нижний) слой, так как он составляет 90 % от общей толщины изделия.

Для экспериментальных исследований были заформованы образцы однослойных плит тротуарных размерами 19,8×9,8×4,0 см по подобранным

составам бетона. Изделия были заформованы на производственном вибропрессе HESS «Multimat RH-1500» при стабильных и отработанных параметрах вибропрессования.

По результатам оптимизации гранулометрического состава, водоцементного отношения и подбора модификатора, были отобраны составы, представленные в таблице 3.16.

Таблица 3.16

Составы вибропрессованного мелкозернистого бетона

Номер состава	Расход материалов, кг/м ³				В/Ц	Модификатор, кг/м ³		
	цемент	песок вяземский	песок курский	вода		Murasan BWA 19	RheoFIT 740	Полипласт Вибро
1	500	1320	330	200	0,4	–	–	–
2	460	1360	340	161	0,35	–	1,84	–
3	460	1360	340	175	0,38	1,84	–	–
4	460	1360	340	152	0,33	–	–	1,84

Результаты испытаний однослойных плит тротуарных, заформованных по подобранным составам (рисунок 3.15), представлены в таблице 3.17.



Рисунок 3.15. Образцы однослойной плиты тротуарной различного состава

Таблица 3.17

Технические характеристики однослойной вибропрессованной плиты тротуарной

№ состава (таблица 3.16)	Прочность на сжатие, R_3 , МПа	Прочность на сжатие, R_{28} , МПа	Морозостойкость, F , циклов	Водопоглощение, W , %	Истираемость, г/см ²
1	31,5	50,5	200	6,4	0,6
2	31,0	52,1	200	5,8	0,6
3	40,4	68,0	300	3,1	0,4
4	35,0	56,4	300	4,0	0,5

Исходя из экспериментальных данных (таблица 3.17), можно сделать вывод о том, что лучший результат показал состав № 3 с применением модификатора Murasan BWA 19.

С целью проведения дальнейших испытаний для определения качества облицовочного слоя, на вибропрессе были заформованы образцы двухслойных тротуарных плит с одинаковым основным слоем. Состав бетона облицовочного слоя соответствовал подобранной рецептуре (таблица 3.16).

По истечении 28 сут образцы двухслойных тротуарных плит, выдержанные в нормальных условиях, разрезались по центру и погружались на 1 см в воду.

В соответствии с результатами определения высоты капиллярного подъема, качество облицовочного бетона лучше у образцов 3 и 4 (рисунок 3.16).



Рисунок 3.16. Высота капиллярного подъема по истечении 90 мин испытания

Как показывают выше приведенные результаты, последовательность улучшения качественных характеристик, определенных с помощью высоты капиллярного подъема (рисунок 3.16), повторяется в точно такой же последовательности, как и при определении основных технических характеристик бетона облицовочного слоя (таблица 3.17).

На основе представленных результатов, а также ряда научных исследований [95], установлено, что определение высоты капиллярного подъема представляет собой простое и подходящее испытание, посредством которого можно составить представление о качестве облицовочного слоя плит тротуарных.

Результаты испытаний двухслойных плит тротуарных оптимального состава (основной слой: цемент – 320 кг/м^3 ; песок вяземский – 736 кг/м^3 ;

песок курский – 184 кг/м³; щебень фракции 2...5 мм – 311 кг/м³; щебень фракции 5...10 мм – 727 кг/м³; Murasan BWA 19 – 1,3 кг/м³; облицовочный слой: цемент – 460 кг/м³; песок вяземский – 1360 кг/м³; песок курский – 340 кг/м³; Murasan BWA 19 – 1,84 кг/м³) приведены в таблице 3.18.

Таблица 3.18

**Технические характеристики двухслойных
вибропрессованных плит бетонных тротуарных**

Показатель	Значение	
	традиционный состав	разработанный состав
Плотность свежееотформованного образца, кг/м ³	2280	2365
Прочность при сжатии в возрасте 1 суток, МПа	25,0	32,5
Прочность при сжатии в возрасте 28 суток, МПа	B30 (42,1)	52,0
Водопоглощение, %	5,5	3,7
Морозостойкость, циклы	200	300
Истираемость, г/см ²	0,65	0,4

Разработан состав вибропрессованных бетонов для плит бетонных тротуарных с классом по прочности на сжатие B40, водопоглощением W 3,7 %, маркой по морозостойкости F300, истираемостью 0,4 г/см², который по физико-механическим характеристикам превосходит характеристики традиционно выпускаемых плит бетонных за счет комплексного воздействия рациональной гранулометрии заполнителя, оптимального водоцементного отношения и модификатора Murasan BWA-19, что позволит увеличить их долговечность и повысить архитектурную выразительность.

3.5. Структура вибропрессованного бетона

Для оценки влияния модификатора Murasan BWA-19 на изменение микроструктуры были синтезированы образцы вибропрессованного бетона с модификатором Murasan BWA-19 и изучена морфология поверхности свежих сколов образцов бетона при различных увеличениях на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения TESCAN MIRA 3 LMU, включающем энергодисперсионный спектрометр (ЭДС) X-MAX 50 Oxford Instruments NanoAnalysis для электронно-зондового микроанализа (рисунок 3.17).

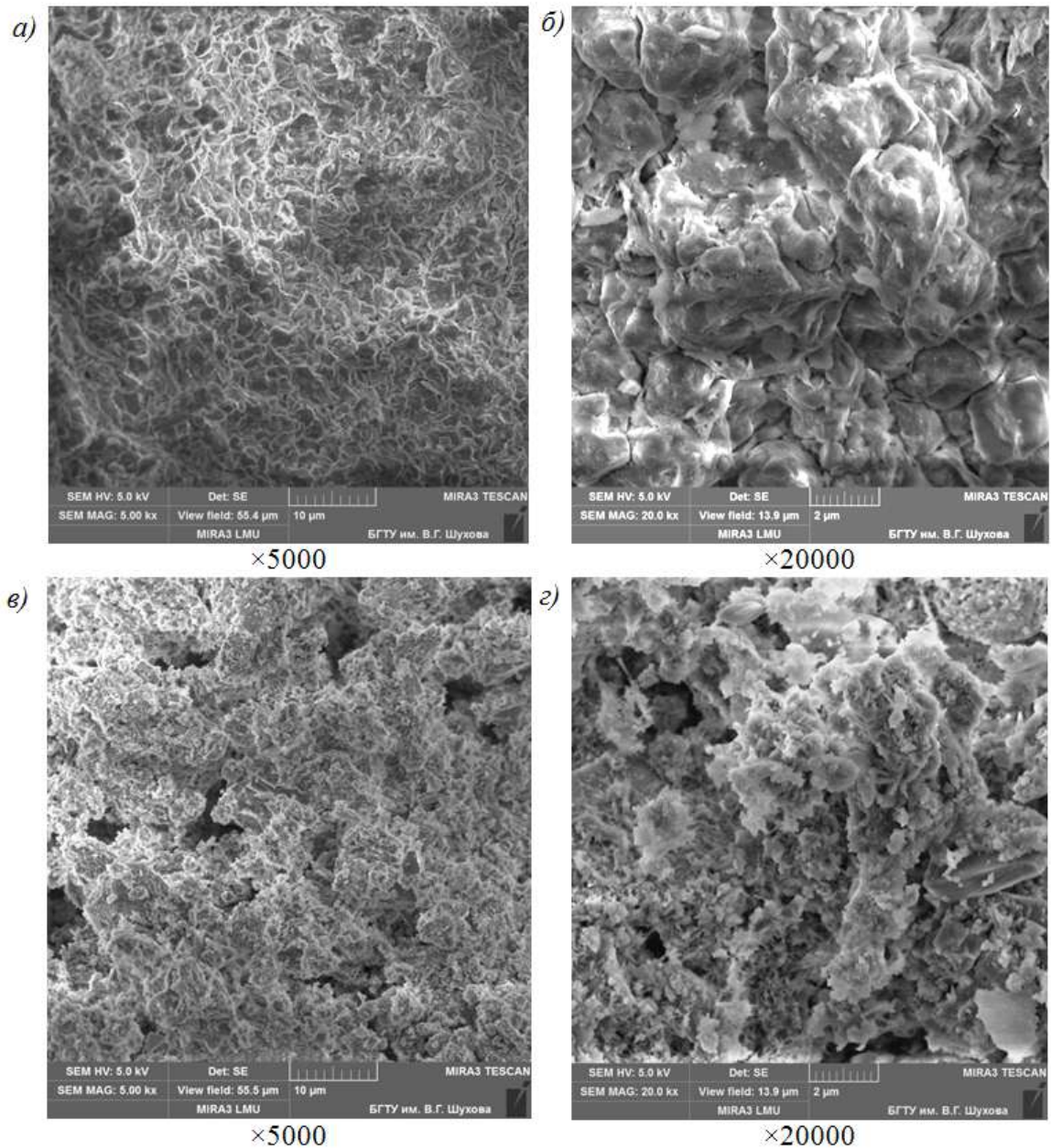


Рисунок 3.17. Микроструктура плит бетонных тротуарных:
а, б – с добавкой Murasan BWA19; *в, г* – без добавки

Составы без добавки имеют неплотную неоднородную структуру с наличием пор и пустот. Твердый каркас у данных образцов сложен хлопьевидными, нитеобразными, призматическими частичками, имеющими слабую адгезию между собой, следствием чего является обилие пор и пустот.

При использовании добавки в процессе гидратации образуется плотный однородный композит, сложенный глобулами округлого размера, плотно прилегающими друг к другу (рисунок 3.17, *а, б*), что обусловлено снижением воды затворения и уменьшением сил трения между частицами. Такие условия способствовали росту кристаллической фазы в стесненном

состоянии, что привело к образованию однородных по форме и размеру микрочастиц. В общей массе практически отсутствуют нитевидные и призматические новообразования.

Параллельно проводился рентгенофазовый анализ бетона контрольного состава и бетона с использованием модификатора Murasan BWA 19. Результаты исследований представлены на рисунке 3.18.

На дифрактограмме бетона контрольного состава (рисунок 3.18, а) присутствуют линии основных гидратов: Ca(OH)_2 ($d = 1,67; 1,94; 2,46; 2,62 \text{ \AA}$), гидросиликатов Ca типа CSH ($d = 1,82; 1,98; 2,28; 2,75; 3,04; 3,19; 3,25; 4,27 \text{ \AA}$), этtringита ($d = 2,13; 2,19; 10,16 \text{ \AA}$), гидроалюминатов Ca ($d = 2,24; 3,77 \text{ \AA}$).

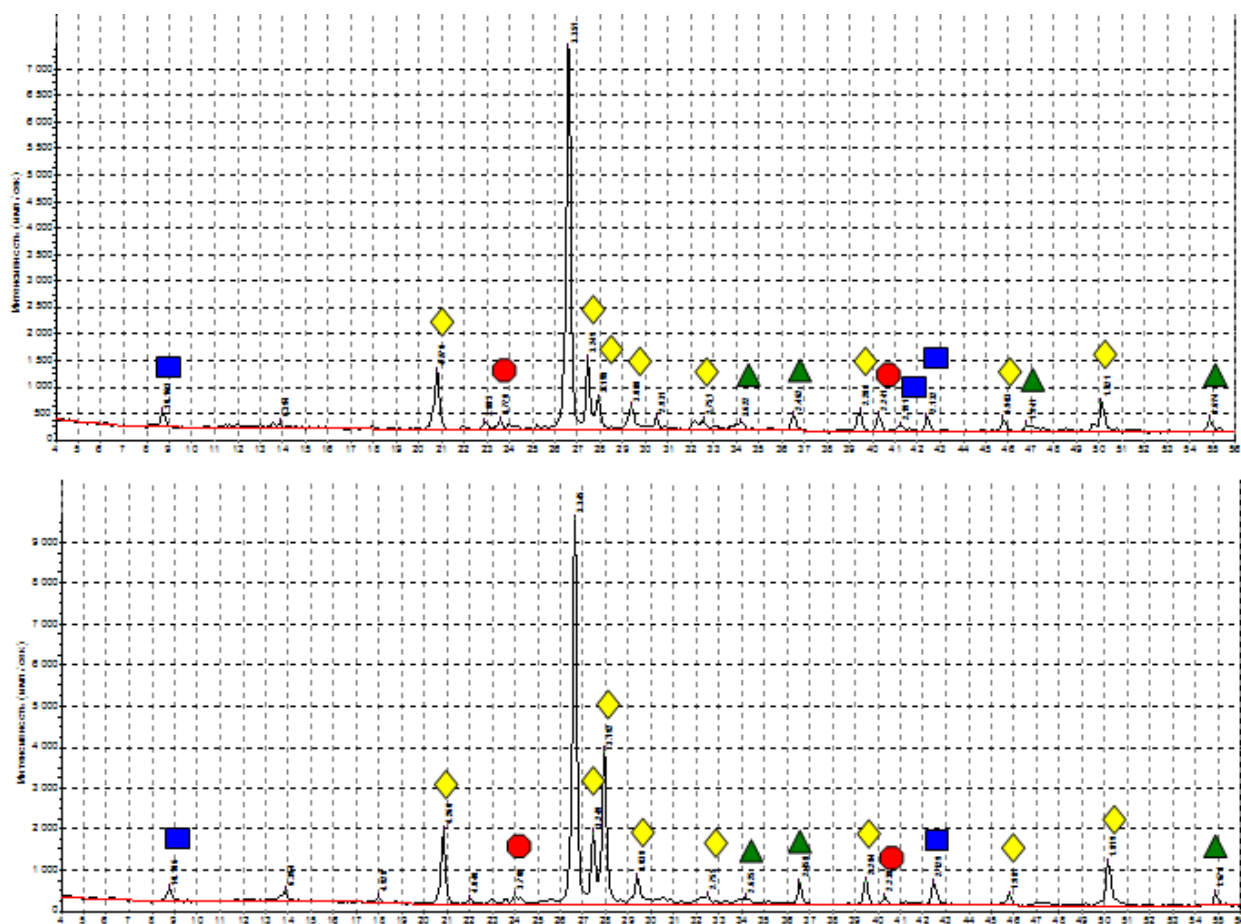


Рисунок 3.18. Дифрактограммы мелкозернистого бетона контрольного состава (а) и бетона с использованием модификатора Murasan BWA 19 (б):
 ▲ – Ca(OH)_2 ; ♦ – гидросиликаты Ca; ● – гидроалюминаты Ca; ■ – этtringит

На дифрактограмме бетона с использованием модификатора Murasan BWA 19 (рисунок 3.18, б) присутствуют линии основных гидратов: Ca(OH)_2

($d = 1,67; 2,46; 2,63 \text{ \AA}$), гидросиликатов Ca типа CSH ($d = 1,82; 1,98; 2,28; 2,46; 2,63 \text{ \AA}$), этtringита ($d = 2,13; 10,11 \text{ \AA}$), гидроалюминатов Ca ($d = 3,24; 3,713 \text{ \AA}$).

Применение модификатора Murasan BWA 19 привело к образованию дополнительного объема гидросиликатов кальция, способствующих повышению прочности матрицы вибропрессованных плит бетонных тротуарных.

3.6. Выводы

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

2. Выявлено, что максимальная прочность на сжатие свежееотформованного, а также затвердевшего бетона обеспечивается только в ограниченной области оптимального водоцементного отношения от 0,36 до 0,4.

3. Установлено, что в процессе твердения вибропрессованных бетонов с модификатором Murasan BWA 19 обеспечивается снижение открытой пористости и формирование плотного композита при рациональной гранулометрии зернистых компонентов, что обуславливает повышение однородности структуры матрицы композита, прочности на сжатие в 1,2 раза, морозостойкости в 1,5 раза, снижение водопоглощения в 1,5 раза, истираемости в 1,6 раза и, в целом, повышение долговечности и декоративности матрицы плит бетонных тротуарных.

4. Разработан состав вибропрессованных бетонов для плит бетонных тротуарных с классом по прочности на сжатие B40, водопоглощением W 3,7 %, маркой по морозостойкости F300, истираемостью 0,4 г/см².

4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ВИБРОПРЕССОВАННЫХ ПЛИТ БЕТОННЫХ ТРОТУАРНЫХ С ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МАТРИЦЕЙ

Вибропрессование – способ уплотнения бетонной смеси путем приложения к ней вибрационных нагрузок и статического давления.

Технология производства изделий методом вибропрессования совмещает переналаживаемый и гибкий способы формования, так как при замене формы возможен выпуск широкой номенклатуры вибропрессованных изделий. Его применяют с целью достижения прочности и плотности бетона, превышающие аналогичные показатели традиционно уплотненного бетона (при одинаковых водоцементных отношениях бетонных смесей). Вибропрессование объединяет в одном непрерывном процессе укладку, распределение и уплотнение бетонной смеси.

Рассмотрим факторы, влияющие на свойства вибропрессованных бетонов при производстве плит тротуарных. На основе изучения влияния внешних вибрационных и прессующих воздействий становится возможным оценить работу внешних сил, закономерности движения составляющих бетонной смеси и сопровождающие их энергетические потоки.

4.1. Факторы, влияющие на качество изделий на технологических этапах

Для производства долговечной вибропрессованной плиты бетонной тротуарной, удовлетворяющей всем предъявляемым к ней требованиям и характеристикам по прочности, плотности, морозостойкости и архитектурной выразительности, необходимо оптимизировать процесс производства на каждом технологическом этапе.

Рассмотрим процесс производства плит бетонных тротуарных методом полусухого вибропрессования и основные факторы, влияющие на качество изделия на каждом из технологических этапов:

1. Установка очищенной металлической формооснастки (рисунок 4.1), состоящей из матрицы (металлических ячеек) и пуансона (пригруза) на вибропресс.

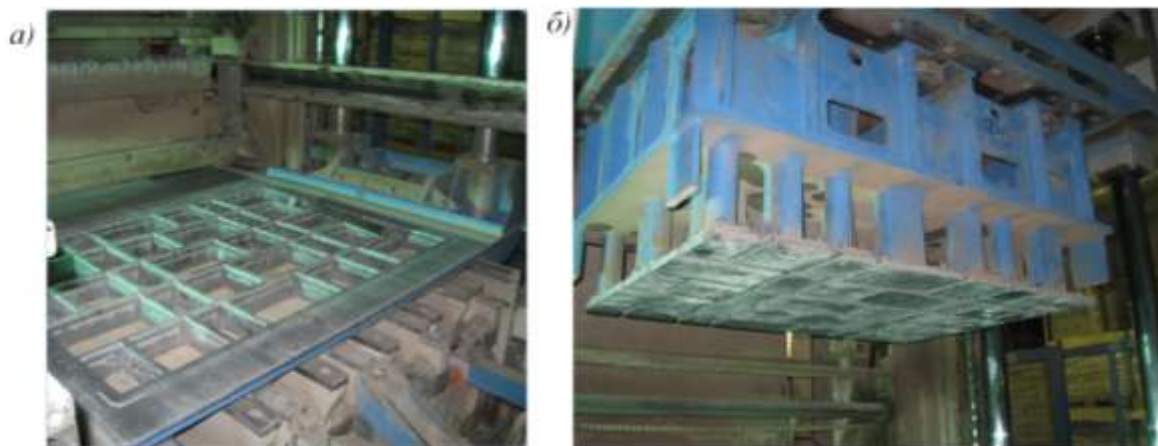


Рисунок 4.1. Формооснастка: *а* – матрица; *б* – пуансон

Особое внимание уделяется установке матрицы в строго горизонтальной плоскости и точной центровке пуансона при опускании в матрицу.

Влияние качества формооснастки на точность геометрических размеров готовых изделий объясняется износом формы (матрицы и платиков пуансона), в результате чего у формуемых изделий изменяются геометрические параметры и появляется дефект в виде «гребешка» (рисунок 4.2).

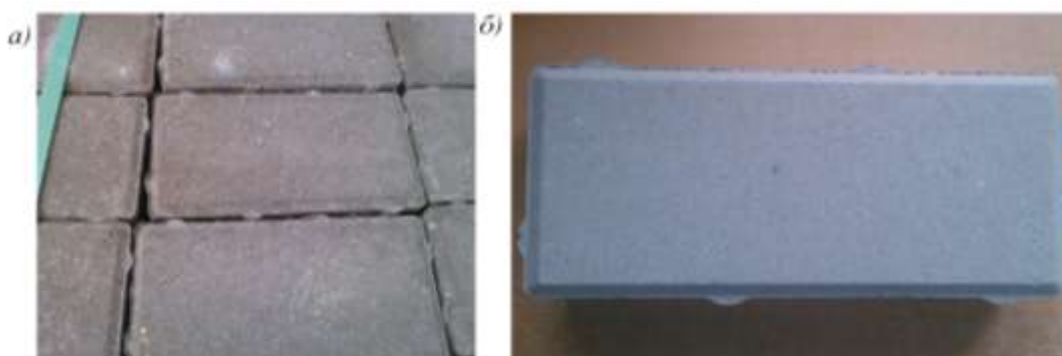


Рисунок 4.2. Изделие с дефектом «гребешка» (*а*) и качественное изделие (*б*)

При установке в пределах одной формооснастки элементов разного размера и формы элементы меньшего размера следует устанавливать ближе к центру формы, что связано с особенностями равномерного заполнения формы бетонной смесью.

2. Приготовление жесткой бетонной смеси с заданными свойствами.

Для качественного перемешивания и получения однородных бетонных смесей с заданными свойствами компоненты должны смешиваться в бетоносмесителе принудительного действия планетарного типа. Для получения двухслойной продукции в бетоносмесительном узле должны быть предусмотрены два бетоносмесителя: один – для основного слоя бетона, другой – для облицовочного слоя бетона, при этом производительность смесителя для основного слоя бетона должна в 5...6 раз превышать производительность смесителя для облицовочного слоя бетона.

3. Адресная подача жесткой бетонной смеси в бункер вибропресса.

Объем подаваемой бетонной смеси подбирается индивидуально под каждую номенклатуру выпускаемых изделий, таким образом, чтобы за время формования не происходило изменения влажности и консистенции жесткой бетонной смеси. Бетонная смесь из расходного бункера не должна быть израсходована до конца, а должна пополняться при остатке менее 30 % от общего объема бункера. При этом, объем смеси в бункере должен быть подобран таким образом, чтобы давление смеси было достаточным для ее хорошего распределения в ящичном дозаторе, и недостаточным для потери ее реологических характеристик.

4. Заполнение ящичных дозаторов.

Для обеспечения стабильных качественных характеристик формуемых изделий особую роль играет точное дозирование одинакового объема бетонной смеси в ящичный дозатор при каждом производственном цикле. Оптимальным следует принимать такой объем смеси в дозаторе, когда после заполнения матрицы хорошо видны стержни ворошителя (колосниковой решетки) среди оставшейся бетонной смеси.

Бетонная смесь в ящичном дозаторе должна быть распределена равномерно (рисунок 4.3).



Рисунок 4.3. Равномерное распределение бетонной смеси в ящичном дозаторе

4. Подача технологических поддонов.

Важным является правильный выбор технологических поддонов, на который влияют габаритные размеры, величина формовочной зоны, передача вибрации на бетонную смесь, стойкость к попеременному увлажнению и высушиванию, сопротивление механическим нагрузкам и вибрации, а также их правильная эксплуатация с регулярным кантованием и увлажнением.

5. Вибропрессование.

Технология вибропрессования включает в себя три основных этапа: заполнение формы, уплотнение бетонной смеси (вибропрессование) и распалубка свежееотформованных изделий.

На качество выходного продукта влияют рационально подобранные параметры для равномерного заполнения всех ячеек формы, длительность и интенсивность вибропрессования, а также скорость и время распалубки свежееотформованных изделий.

6. Транспортировка поддона со свежееотформованными изделиями в камеру выдержки.

На данной стадии на качество продукции оказывает влияние скорость при процессе выталкивания, которая должна происходить как можно медленнее: без резких толчков или быстрых движений.

7. Камера выдержки.

Учитывая высокую оборачиваемость камер нормального твердения, без потери производительности и дополнительной тепловлажностной

обработки, продукция должна быть выгружена из камер по истечении 24 ч с отпускной прочностью, что является возможным при оптимально подобранном составе и водоцементном отношении бетонной смеси.

8. Транспортирование изделий из камеры выдержки и их штабелирование.

На данном этапе на качество вибропрессованной продукции оказывает влияние правильно подобранные нормы упаковки продукции, зависящие от номенклатуры и дальности транспортирования.

9. Упаковка изделий и складирование готовой продукции.

При упаковке вибропрессованных плит бетонных тротуарных необходимо исключить смещение рядов плит относительно друг друга в пределах одного поддона. Высота штабеля плит бетонных тротуарных не должна превышать 1,5 м.

4.2. Обеспечение стабильности свойств жестких бетонных смесей

Эффективным смесителем для перемешивания бетонной смеси является смеситель принудительного действия планетарного типа (рисунок 4.4). По мере перемешивания компонентов в нем носителями свойств становятся не отдельные составляющие бетонной смеси, а бетон, как сплошная система, который условно можно рассматривать как гомогенную среду с определенным набором структурных, реологических и физико-механических свойств.



Рисунок 4.4. Планетарный смеситель принудительного действия со скиповым подъемником серии SM (SCHLOSSER PFEIFFER)

В планетарном смесителе получают гомогенную бетонную смесь, однако нет стабильности по параметру влажности бетонной смеси в различных замесах. Количество воды на замес определяется нормами расхода материалов и корректируется в зависимости от влажности применяемых заполнителей. Точность дозирования воды имеет первостепенное значение, так как любые изменения водоцементного отношения относительно оптимального приводят к ухудшению физико-механических характеристик вибропрессованных изделий и возникновению некачественной продукции.

При изготовлении бетонной смеси корректировка влажности ведется путем лабораторного измерения влажности инертных материалов и определения количества воды после проведения необходимых измерений. Это эффективно только в случае наличия закрытых складов, где влажность инертных материалов не меняется в течение суток. Если же склад инертных материалов открытый, значительные скачки влажности инертных материалов очень трудно отследить и вовремя скорректировать влажность бетонной смеси.

Определение консистенции бетонной смеси проводится неэффективным органолептическим методом. Для автоматической корректировки влажности бетонной смеси был установлен в бетоносмеситель микроволновый датчик измерения влажности и проведены исследования водоцементного отношения бетонной смеси для оценки работы датчика.

Датчик для замера влажности был встроен в дно смесителя. При поступлении материала в смеситель производился замер влажности инертных материалов для определения точки отчета дозировки воды. Далее, исходя из заданного параметра водоцементного отношения в программе в автоматическом порядке производился подсчет необходимого количества воды (рисунок 4.5).

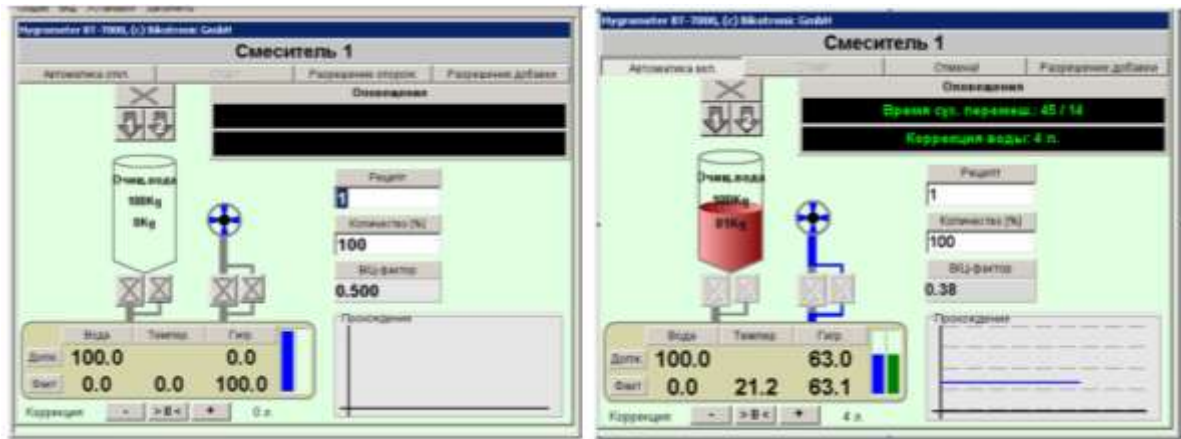


Рисунок 4.5. Автоматическая корректировка влажности бетонной смеси

Для корректной работы датчика достаточно 60 с времени сухого перемешивания и 60 с времени мокрого перемешивания [137, 138].

Для проведения оценки изменения водоцементного отношения были проведены испытания по оценке влажности бетонной смеси с работающим и выключенным датчиком влажности. Отбор проб осуществлялся непосредственно из бетоносмесителя сразу после окончания замеса, при этом время перемешивания и состав бетонной смеси были постоянными.

График зависимости водоцементного отношения от влажности инертных материалов представлен на рисунке 4.6.

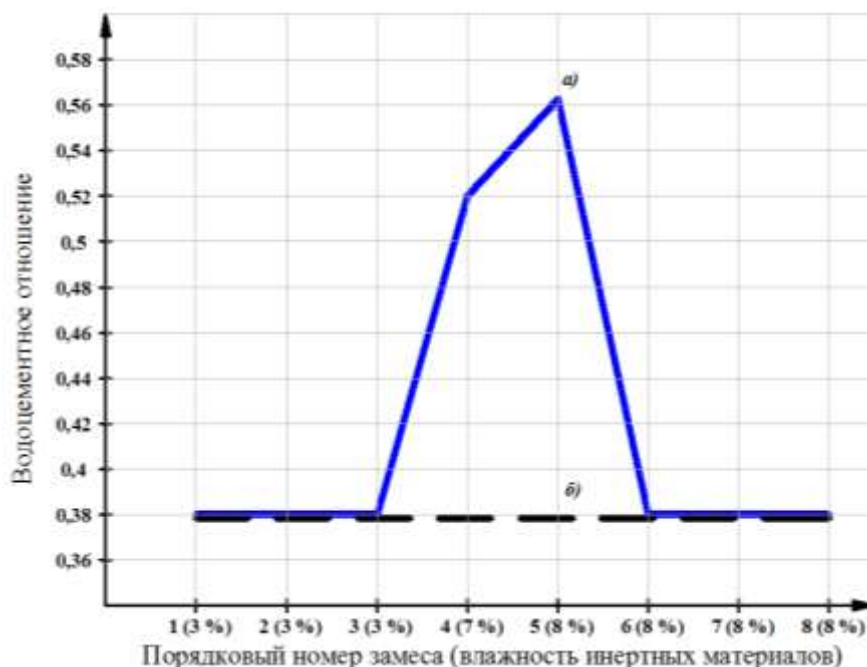


Рисунок 4.6. Зависимости водоцементного отношения от изменения влажности инертных компонентов при выключенном (а) и включенном (б) датчике влажности

При резком скачке влажности инертных материалов с 3 % до 7 % (рисунок 4.6, а) оператор корректируется расход воды только на шестом

замесе, при этом водоцементное отношение в четвертом и пятом замесах значительно превышает требуемое.

Установка датчика влажности в бетоносмесителе позволила оперативно корректировать водоцементное отношение замесов бетонной смеси (рисунок 4.6, б), что повысило стабильность качества жестких бетонных смесей и выпускаемых изделий на их основе.

4.3. Равномерное заполнение формы бетонной смесью

При квалифицированном управлении производственным процессом современные бетоноформовочные машины (вибропрессы) вполне способны очень хорошо прессовать жесткий бетон в течение нескольких секунд. Сложной же оказывается задача обеспечения равномерного заполнения формы жесткой бетонной смесью. Отсюда следуют колебания по высоте готовых изделий, плотности и прочности, а также во внешнем виде.

Формоснастка оказывает существенное влияние на качество процесса изготовления. Влияние формоснастки проявляется в равномерном заполнении ячеек формы, в качестве уплотнения, а также в качестве поверхности изделий. При этом значительное влияние на качество продукции оказывает нижняя часть формы (матрица) за счет большой контактной поверхности с бетонным изделием. Вибрации, возбуждаемые в бетонной смеси через нижнюю часть формы, оказывают влияние на качество ее заполнения, уплотнения смеси и, тем самым, существенно влияют на технические характеристики выпускаемой продукции.

Многочисленными измерениями на промышленном вибропрессе [139] было подтверждено, что данное вибрационное оборудование должно монтироваться с высокой точностью. При этом важными параметрами являются плоскостность вибрационного стола, размер и равномерность зазора вибрационной рейки, состояние опоры вибрационного стола, регулирование силы фиксации нижней части формы, дебалансная сила вибраторов и частота вибромоторов.

Растущий спрос на изделия разной геометрической формы приводит к возникновению технологических задач, связанных с заполнением форм.

Опыт работы с различными мелкоштучными изделиями, отличающимися конфигурацией, высотой и степенью возникающих проблем с гомогенным заполнением ячеек формы при производстве, заставляет уделять этому вопросу такое же внимание, как и правильному подбору состава бетонных смесей.

В исследованиях использована оптимально подобранная по составу и водоцементному отношению бетонная смесь, модифицированная добавкой Murasan BWA-19 (таблица 4.1).

Таблица 4.1

**Составы бетонных смесей для двухслойной
вибропрессованной плиты тротуарной**

Слой	Материалы, кг						В/Ц
	ЦЕМ I 42,5 Н	песок курский	песок вяземский	щебень фракции 2...5 мм	щебень фракции 5...10 мм	Murasan BWA-19	
Основной слой	320	184	736	311	727	1,3	0,38
Облицовочный слой	460	340	1360	—	—	1,84	0,38

В начале производственного процесса возникают проблемы с влажностью бетонной смеси, что объясняется разной влажностью песка (особенно, если инертные материалы хранятся на открытом складе), неточным измерением, связанным с некорректной работой гигрометра или, вообще, с его отсутствием. Поэтому исследования следует начинать только после определения оптимальной влажности бетонной смеси и непрерывной работы технологического оборудования в течение 1 ч (время, необходимое для достижения рабочей температуры и вязкости масел).

Для исследований была выбрана распространенная форма плит бетонных тротуарных в виде прямоугольника 9,8×19,8×6,0 см. Этот формат имеет простую геометрию и относительно малую массу. Этот вид изделия состоит из двух слоев: основного и облицовочного. Толщина облицовочного слоя составляет не менее 10 % от высоты изделия. Однако, даже эта, довольно простая геометрическая форма с несложной конфигурацией внутри условной единицы, вызывает проблемы с заполнением. Разница в массе изделий на поддоне достигает до 8 %, а толщина облицовочного слоя не везде одинаковая, что не соответствует требованиям ГОСТ 17608-91 [24].

Схематичные изображения изделий в разрезе из центральной и угловой ячеек формы представлены на рисунке 4.7.

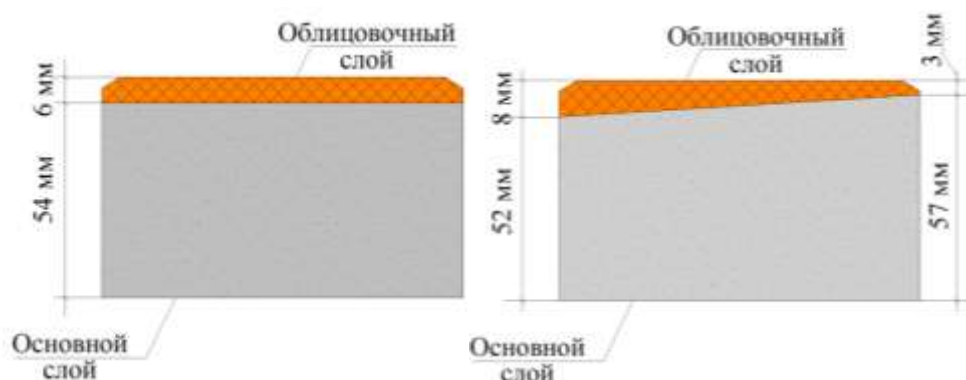


Рисунок 4.7. Изделие из центральной и угловой ячейки формы

Матрица распределения бетонной смеси при заполнении формы представлена на рисунке 4.8.

2650 98%	2675 99%	2640 98%	2660 98%	2618 97%	2630 97%	2660 98%	2640 98%
2650 98%	2690 99%	2680 99%	2670 98%	2650 98%	2650 98%	2670 98%	2655 98%
2690 99%	2690 99%	2670 98%	2660 98%	2640 98%	2680 99%	2660 98%	2710 100%
2650 98%	2660 98%	2650 98%	2650 98%	2610 96%	2640 98%	2660 98%	2610 96%
2610 96%	2630 97%	2590 96%	2610 96%	2595 96%	2620 97%	2570 95%	2700 100%
2640 98%	2500 92%	2500 92%	2530 93%	2540 93%	2590 96%	2670 98%	2560 94%

Рисунок 4.8. Матрица распределения бетонной смеси при заполнении формы (с указанием средней плотности бетона, кг/м^3 , и процента заполнения ячеек)

Для равномерного заполнения важно, чтобы энергия вибрации равномерно распределялась по всей нижней поверхности формы, а с другой стороны, также важно, чтобы оба слоя равномерно заполняли всю площадь формы как по ширине, так и по высоте.

Установлено, что, несмотря на разные технологические подходы к решению проблемы равномерности заполнения, внешние ряды ячеек формы в целом заполняются хуже, и существует разница в заполнении основного и облицовочного бетона.

Применение вибродозирования позволит равномерно заполнить каждую ячейку формы при одинаковом количестве бетонной смеси.

При помощи ящичного дозатора происходит объемное дозирование бетонной смеси (смесь заполняет матрицу). Процесс дозирования производится как при работающем вибростоле, так и без включения вибрации. Если регулируются параметры вибрации, вибродозирование производится при частоте работы вибростола 30...42 Гц, амплитуда колебаний достигает 1,8 мм.

Условия заполнения бетонной смесью матрицы зависят от габаритов изделия, размещения ячеек разного размера в одной матрице, высоты изделия и толщины стенок. При вибродозировании, помимо заполнения ячеек матрицы бетонной смесью, происходит также ее предварительное уплотнение. Время вибродозирования составляет 0,5...5 с в зависимости от вида и геометрических размеров формируемых изделий.

Эффективность предварительной вибрации возрастает после того, как ящичный дозатор достигнет своей крайней позиции над матрицей. Равномерное распределение бетонной смеси во всех ячейках матрицы достигается подбором количества и времени прохождения ящичного дозатора над ячейками, а также временем работы ворошителя (активатора смеси) и времени вибрирования. Особое внимание следует обратить на то, что после заполнения ячеек матрицы бетонной смесью в ящичном дозаторе должен оставаться одинаковый объем бетонной смеси. Это показатель того, что в ячейки попадает одинаковый объем бетонной смеси от поддона к поддону.

Движения ящичного дозатора, ворошителя и вибрации оказывают такое же влияние на уплотнение бетонной смеси, как и внутренние параметры уплотнения.

Для равномерного распределения бетонной смеси по всей площади формы ящичный дозатор многократно передвигается вперед/назад (реверсируется). Если ящичный дозатор оснащен активным ворошителем (колосниковой решеткой), то он имеет возможность двигаться в горизонтальном направлении, вне зависимости от направления движения ящичного дозатора в данный момент. В таком случае оптимальным является следующее: ящичный дозатор неподвижно расположен над формой и только ворошитель совершает возвратно-поступательные движения, что приводит не только к сокращению производственного цикла формования, но, что очень важно, к более однородному заполнению ячеек формы.

Значительное влияние на равномерное заполнение ячеек формы оказывает скорость движения ящичного дозатора (рисунок 4.9). Часто возникает проблема при заполнении ячеек формы, которые наиболее удалены от дозатора. При выдвигании дозатора над матрицей, бетонная смесь под силой тяжести заполняет ячейки, которые находятся ближе к дозатору, а дальние ячейки часто остаются плохо или совсем не заполнены. При быстрых движениях дозатора бетонная смесь будет уложена в ячейки формы только тогда, когда он остановится. При этом важную роль играет метод и позиция остановки ящичного дозатора. Скорость движения ящичного дозатора может достигать 2 м/с.

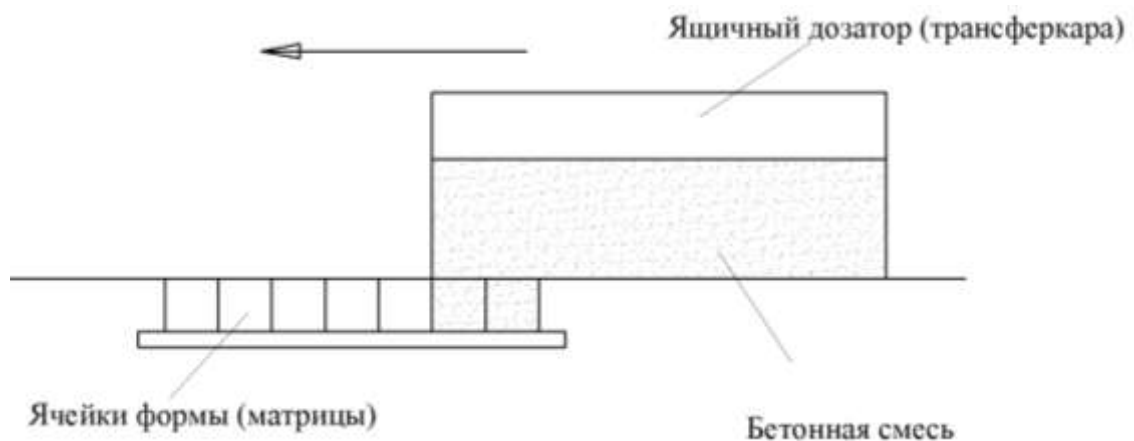


Рисунок 4.9. Схема заполнения ячеек формы бетонной смесью в момент движения ящичного дозатора

Во время подбора настроек следует учитывать исключение излишних движений ящичного дозатора и активного ворошителя, так как это приводит к нежелательному уплотнению бетонной смеси.

Установлено, что при правильно подобранных настройках можно добиться равномерного заполнения всех ячеек формы с обеспечением одинаковой высоты изделий и толщины облицовочного слоя. Правильный подбор этих параметров зависит от объема ячеек, их геометрических размеров, крупности заполнителя, реверсирования дозатора и движений колосниковой решетки. В каждом случае требуется индивидуальная настройка рабочих параметров. При изготовлении мелкогабаритных изделий, в которых один из линейных размеров в плане не более расстояния между прутьями колосниковой решетки, формование следует осуществлять не непрерывно, а циклично, устанавливая ящичный дозатор над матрицей и включая ворошитель без предварительной вибрации.

При размещении в матрице ячеек разной геометрической формы и размеров (рисунок 4.10) процесс формования рекомендуется осуществлять непрерывно, учитывая при проектировании матрицы, чтобы грани ячеек меньшего размера располагались параллельно движению ящичного дозатора.

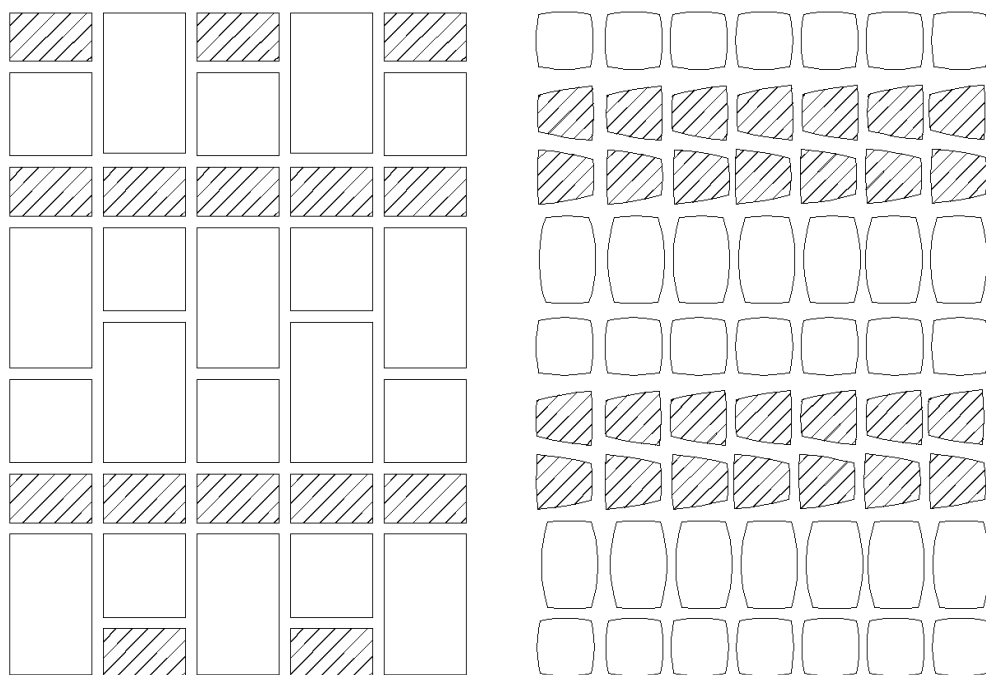


Рисунок 4.10. Формы с разными геометрическими размерами и конфигурацией ячеек:

□ – однородное заполнение; ▨ – неоднородное заполнение

На степень заполнения ячеек матрицы особое влияние оказывает внесение производственных изменений в рецептуру бетонной смеси, уменьшение высоты заполнения ячеек бетонной смесью и состояние производственной установки.

Определены факторы и параметры, влияющие на равномерное заполнение формы жесткой бетонной смесью, и как следствие, на качество выпускаемой продукции:

- рационально подобранный состав бетонной смеси (для каждого вида изделий с различной высотой рецептура смеси подбирается индивидуально);

- равномерная непрерывная подача свежеприготовленной бетонной смеси с постоянными свойствами;

- оптимальный объем бетонной смеси в трансферкаре в зависимости от конфигурации формы;

- равномерность распределения бетона по всей площади формы обеспечивается многократным передвижением трансферкары. У вибропрессов с передвижной колосниковой решеткой трансферкара находится в неподвижном состоянии над формой и только колосниковая решетка совершает поступательные движения, что сокращает время производства;

- оптимальный режим предварительной вибрации: частота 2700...3000 об/мин с низкой интенсивностью для обработки смесей, уложенных в формах с широкими ячейками (≥ 50 мм); частота 2400...2700 об/мин со средней интенсивностью для обработки смесей, уложенных в формах с узкими ячейками (≤ 50 мм);

- интенсивность, частота и время основной вибрации жестких смесей зависят от типа изделия и должны соответственно корректироваться;

- сила вибрации: при высоте камня ≤ 10 см – 600...650 Н/кг;

- частота вибрации: полнотелые изделия – 47 Гц (~2800 об/мин); пустотелые изделия – 42 Гц (~2500 об/мин);

– время вибрации – 2,2...3,5 с.

Установленные факторы и оптимальные параметры способствуют равномерному заполнению всех ячеек формы жесткой бетонной смесью при изготовлении методом полусухого вибропрессования плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей, что существенно повышает их эксплуатационные свойства и архитектурную выразительность.

4.4. Оптимизация параметров вибропрессования плит бетонных тротуарных

Для понимания сущности процесса вибропрессования бетонной смеси, который осуществляется под действием вибрационных и прессующих воздействий рассмотрим вопрос изменения дисперсно-зернистых систем с учетом их вязкости, относительно пульсационного движения как отдельных твердых частиц или пузырьков, так и фрактально-кластерных образований, столкновения частиц, разрушения агрегированных структур в условиях внешних динамических воздействий.

По О.А. Гершбергу [140] вибропрессование заключается 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. При использовании вибрирования в сочетании с прессующим давлением появляется возможность снижения величины давления в 10...100 раз по сравнению с обычным прессованием.

О.А. Савиновым [141, 142] выделено три стадии процесса вибропрессования, отражающие закономерности формирования структуры бетонных смесей при уплотнении вибрацией в сочетании с прессующим давлением: стадия переукладки составляющих бетонной смеси; стадия сближения составляющих и стадия компрессионного уплотнения, возникающего при приложении внешнего давления. На первой стадии поведение жесткой бетонной смеси можно описать как зернистую среду,

где под действием вибрации ее составляющие образуют устойчивую структуру, отвечающую требованиям плотных упаковок. На второй стадии смесь реагирует на внешнее уплотняющее действие как упруго-вязкое пластичное тело, которое сопротивляется сплочению составляющих, и возможно лишь их сближение, раздвижка или небольшие сдвиги в результате перераспределения растворной составляющей, цементного теста и удаления воздуха. Одновременное воздействие вибрации и прессующего давления при сравнительно небольшой величине, приложенной на короткий период времени, позволяет значительно повысить плотность и прочность отформованного бетона. Основными условиями успешного протекания процесса вибропрессования является достаточное разжижение бетонной смеси и прессующее давление на нее, которое целесообразно применять на второй и третьей стадиях формирования.

Для описания явлений, протекающих при вибропрессовании бетонной смеси используются методы, представленные в вибрационной механике и виброреологии, основные положения которых изложены в трудах И.И. Блехмана [143], Б.Н. Урьева [144], Г.Ю. Джанелидзе, П.А. Ребиндера [145], И.Ф. Гончаревича [146] и др. Данные исследования являются основой для разработки эффективных режимов вибропрессования бетонных смесей и технологического оборудования для их реализации.

Главным эффектом виброреологии является «разжижение» под действием вибрации дисперсной системы с сухим трением. Известно, что в основе эффекта виброразжижения бетонных смесей лежит явление относительного движения составляющих вследствие сдвиговых напряжений и деформаций. Эффект вибрационного воздействия проявляется в снижении сил межфазных взаимодействий на границах раздела твердой и жидкой фаз, вследствие изменения свойств связанной воды и снижения вязких сил. Сдвиговые напряжения, возникающие при

вибрационном воздействии из-за взаимного перемещения частиц, способствуют их переукладке и уплотнению системы.

Вибрационное разжижение бетонной смеси имеет огромное значение и лежит в основе всей современной технологии бетона. В жестких смесях требуется совместное применение интенсивного направленного вибрирования и дополнительного прессующего давления.

Большинство исследователей считают, что пригруз предназначен для сокращения продолжительности формирования жестких бетонных смесей, улучшения равномерности уплотнения и качества лицевой поверхности изделий. Другие считают, что применение пригруза необходимо, в основном, только для выравнивания поверхности изделия. В других работах роль пригруза – дополнительное прессующее воздействие для интенсификации процесса уплотнения.

Формование с пригрузом предотвращает возникновение деструктивных явлений, которые возможны при виброформовании бетонных смесей без пригруза и приводящих к неоднородности свойств материала, таких как расслоение бетонной смеси из-за разности плотностей отдельных ее составляющих; вибротранспортный эффект, который является следствием создания неравномерного напряженно-деформированного состояния обрабатываемой среды; разрыхление смеси в результате разрывов в ее слоях, интерференция и резонансные явления в верхней части формируемого изделия.

Методика исследования процесса вибропрессования предусматривает выявление момента укладывания пригруза на поверхность обрабатываемой бетонной смеси. Следует отметить, что первоначальная перестройка смеси при вибрировании протекает при отсутствии статических нагрузок от прессующего устройства. Наличие давления приведет только к увеличению сил внутреннего сухого трения между частицами смеси за счет создаваемых напряжений на контактах микрогетерогенных и грубодисперсных частиц, что затрудняет процесс

уплотнения. А когда наблюдается сближение частиц смеси и их перемещение, целесообразно применять прессующее давление.

Продолжительность предварительного вибрирования зависит от состава и удобоукладываемости бетонной смеси, типа пригруза, величины вибрационного воздействия и высоты формуемого изделия.

Одним из основных факторов при подборе режимов вибропрессования является правильный выбор величины прессующего давления на формуемую бетонную смесь. При оптимальной величине прессующего давления создаются условия для эффективного совместного действия вибрации и прессующего давления. В этом случае прессующее давление совпадает с направлением сил тяжести и увеличивает их, в то же время препятствуя перемещению составляющих смеси, и приводит к формированию плотной структуры бетона. Величины прессующего давления, превышающие оптимум, приводят к замедлению процесса переукладки составляющих смеси и остановке процесса уплотнения, что исключает возможность совместной работы вибрации и прессующего давления.

Рассмотрев технологические факторы управления структурой вибропрессованного бетона, можно выделить значения параметров вибропрессования: амплитуда колебаний – 0,2...0,8 мм, частота – 50...100 Гц, величина прессующего давления – 0,0002...200 МПа и конструктивные особенности пригрузов, которые зависят от жесткости бетонной смеси, высоты изделия и интенсивности колебаний.

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.

Для более детального подхода рассмотрим процесс производства плит тротуарных методом полусухого вибропрессования на бетоноформовочной машине, где применяется уплотнение с помощью виброудара, и факторы, влияющие на качество продукции

На бетонную смесь, находящуюся в замкнутой ячейке, воздействуют возмущающая сила вибростола F_1 , усилие давления пуансона F_2 , вибрационные воздействия, передаваемые через металлические стенки матрицы F_3 и силы отталкивания частиц компонентов бетонной смеси F_4 (рисунок 4.11).

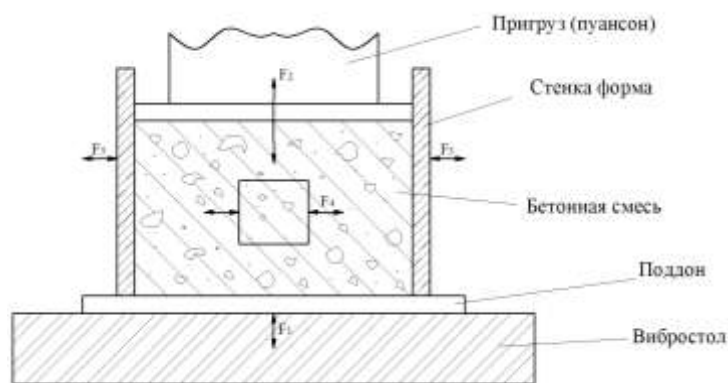


Рисунок 4.11. Схема поведения бетона в замкнутой ячейке

После укладки бетонной смеси в форму начинается конечный процесс уплотнения бетонной смеси в готовую продукцию, называемый основной вибрацией. Пуансон опускается в форму, пластины пуансона при давлении закрывают ячейки матрицы, заполненные предварительно уплотненной бетонной смесью.

На стадии вибрации для достижения высокого качества изделия необходимо добиться равномерного распределения энергии вибрации по всем зонам контакта с бетонной смесью. Колебательные воздействия на массу являются одним из решающих факторов в производственном процессе. Бетонная смесь уплотняется в ячейках, ограниченных снизу поддоном, а сверху – пуансоном. Увеличение времени вибрации позволяет загрузить в формоснастку больше бетонной смеси, а повышение интенсивности вибрации дает возможность лучше уплотнить ее. При недостаточной интенсивности вибрирования, силы, возникающие в

результате ускорения вибрации могут оказаться недостаточными для преодоления силы сопротивления сдвигу и наступит равновесие – момент, когда уплотнение приостанавливается.

Интенсивность, частота и время основной вибрации всегда зависят от типа продукции. Вибрационные параметры должны обеспечить передачу энергии уплотнения в бетонную смесь как можно глубже, в результате необходимо получить однородную плотность как по всему поперечному сечению изделия, так и по каждому из изделий в частности.

Нормативный показатель для основной вибрации (как стадии вибропрессования):

Возмущающая сила вибрации:

- при высоте изделия <10 см: 600...650 Н/кг;
- при высоте изделия > 10 см: 350...400 Н/кг.

Частота вибрации:

- полнотелые изделия: 47 Гц (2800 об/мин);
- пустотелые изделия: 42 Гц (2500 об/мин).

Время вибрации: 2,0...2,5 сек.

При производстве плиты тротуарной методом полусухого вибропрессования смесь бетона облицовочного слоя укладывается только на предуплотненный бетона слой основного. При производстве двухслойной плиты тротуарной облицовочный слой укладывается на уплотненную поверхность бетона основного слоя ударом пуансона (без вибрации).

Факторами, приводящими к возникновению дефектов при двухслойной технологии формования являются: различная влажность основного и облицовочного слоев бетона, переуплотнение основного слоя, неблагоприятное сочетание фаз пригрузки при распалубке, прилипание частиц основного или облицовочного слоев бетона к пуансону и некорректно подобранный состав облицовочного слоев бетона.

4.4.1. Подбор параметров вибропрессования

Первоначальной задачей при производстве плиты тротуарной, является подбор оптимального заполнения ячеек бетонной смесью.

Опытным путем подбирали количество бетонной смеси (уровень в ящичном дозаторе), таким образом, чтобы смеси было достаточно для равномерного заполнения всех ячеек, при этом оставшееся количество смеси в ящичном дозаторе после возвращения его на стартовую позицию было таким, при котором виден ворошитель.

Оптимальное время вибрации определяли по степени уплотнения. Форма и пуансон должны одинаково двигаться без соударений.

В начале процесса основной вибрации, когда пластины пуансона опускаются в матрицу, свежееуложенная бетонная смесь хорошо уплотняется, пуансон сначала достаточно быстро, а затем все медленнее, опускается в форму, что связано с увеличением плотности формируемой бетонной смеси. При достижении максимального уплотнения пуансон уже не опускается далее вниз. Если время вибрации настроено на большой период, пуансон начинает разрушать хорошо уплотненную бетонную смесь, так как силы вибрации передаются от уплотненного бетона на пластины пуансона.

Время основной вибрации назначается таким образом, чтобы с достижением максимального уплотнения, процесс вибрации заканчивался.

Зависимость средней плотности свежееотформованных образцов от времени уплотнения представлена на рисунке 4.12.

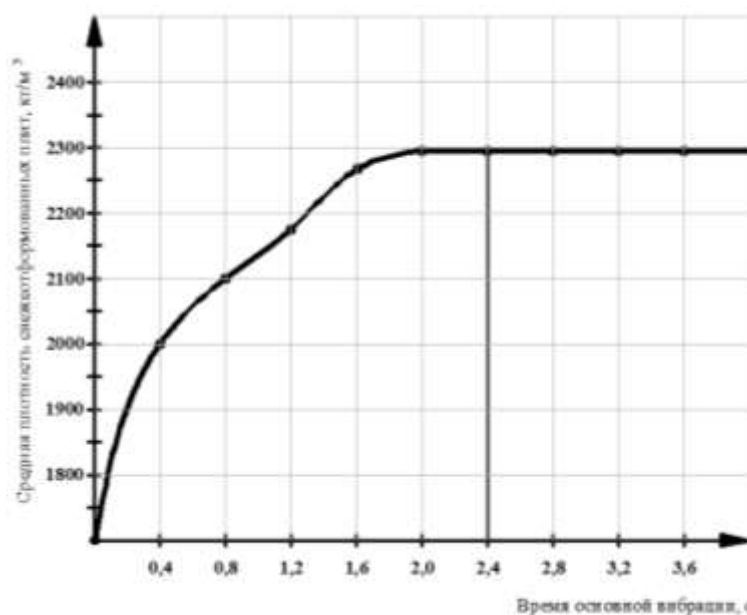


Рисунок 4.12. Зависимость средней плотности свежееотформованных образцов от времени уплотнения

Пригруз (пуансон) играет значительную роль в процессе формирования и уплотнения. Усилие давления пуансона должно подаваться так, чтобы не заглушать вибрационные колебания. Давление пуансона на бетонную смесь может быть динамической нагрузкой (развивается гидроцилиндром) или статической (собственный вес). Усилие давления должно быть на 20...30 % меньше возмущающей силы вибростола.

Изделия высотой более 10 см требуют меньшего давления в сравнении с изделиями высотой менее 10 см, так как бетонная смесь сама работает как демпфирующий промежуточный слой.

Если давление пуансона недостаточно, т.е. не хватает давления для уплотнения уложенной бетонной смеси, то уже в начале процесса вибрации он не опускается вниз, а разрушает структуру. Бетонная смесь давит во все стороны одинаково, поэтому величина сцепления бетона со стенками может превысить усилие, развиваемое пуансоном, что приводит к дефектам при распалубке (рисунок 4.13).



Рисунок 4.13. Дефект изделия при распалубке

Бетонная смесь теряет свойства дальнейшего сжатия при увеличении плотности. Установленная сила давления пуансона должна быть компромиссной между началом уплотнения смеси и уплотненной бетонной смеси, находящейся в форме. Необходима двухступенчатая настройка: небольшое давление для начала уплотнения и повышенное – для конца процесса основной вибрации.

Динамическое давление пуансона – это параметр, который надо использовать для изменения вибрационного эффекта в жестких бетонных

смесях в зависимости от качества смеси и размеров изделий, качества поддонов и т. д. Для повышения эффективности формирования допускается применять периодическое воздействие на смесь вибраторами, установленными на пуансоне.

Зависимость средней плотности свежесформованных плит тротуарных от режима уплотнения представлена на рисунке 4.14.

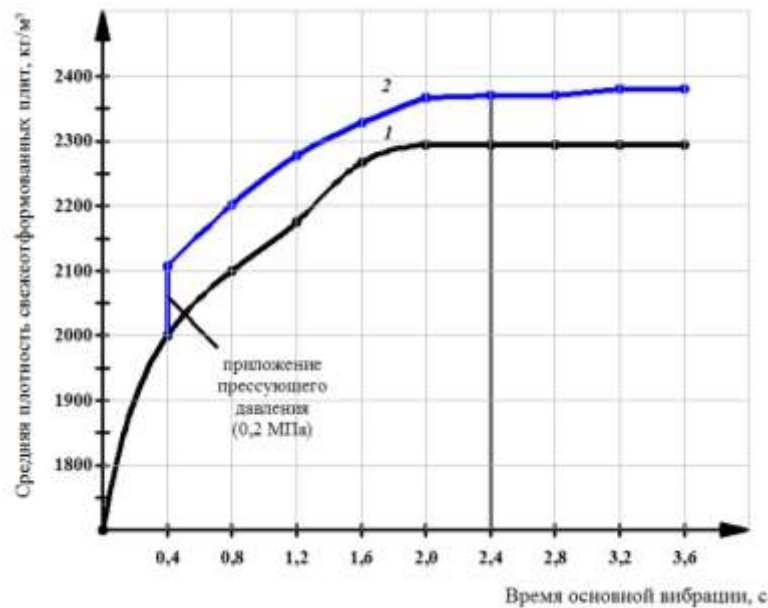


Рисунок 4.14. Зависимость средней плотности свежесформованных плит тротуарных от режима уплотнения: 1 – виброуплотнение; 2 – вибропрессование

Полученные результаты (рисунок 4.14) дают основание предполагать, что процессы виброуплотнения и вибропрессования являются нестационарными. Энергоемкость процессов виброуплотнения и вибропрессования, определяемая балансом внутренних и внешних сил, различна из-за наличия дополнительного прессующего давления при вибропрессовании. Под действием небольшого давления прессования, совпадающего с направлением силы тяжести, частицы грубодисперсной составляющей стремятся занять положение в пределах, соответствующих идеальным классическим упаковкам. Перестройка частиц твердой фазы происходит на всех масштабных уровнях бетонной смеси до установления равновесия между внешними вибрационными и внутренними силами.

Энергетические изменения в системе и структурные перестройки при вибропрессовании будут происходить только при оптимальной величине

прессующего давления, которое создается для эффективного совместного действия вибрации и давления пуансона. При этом прессующее давление совпадает с направлением сил тяжести и как бы увеличивает их, не препятствуя вибрационному перемещению составляющих бетонной смеси.

Оптимизация величин прессующего давления на структурообразующие процессы дисперсно-зернистых систем с учетом действия внутренних сил осуществлялась по структурным изменениям, оцениваемым по плотности свежесформованных образцов тротуарных плит (рисунок 4.15).

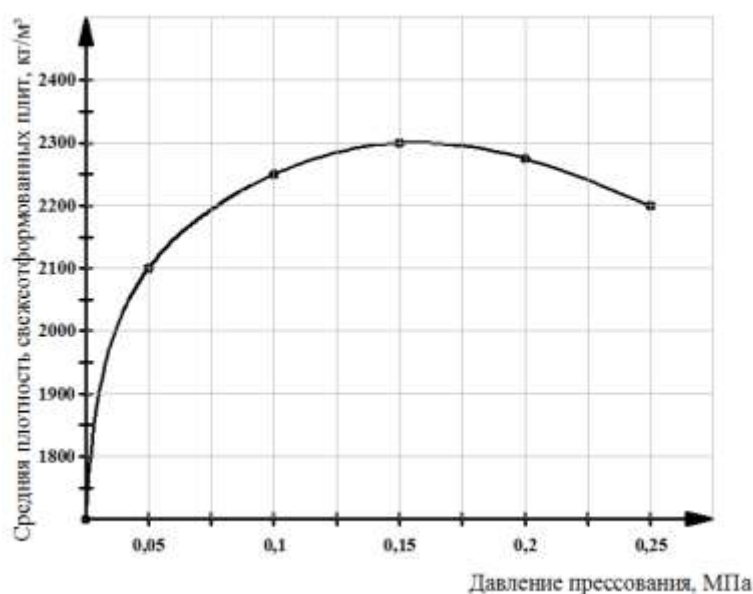


Рисунок 4.15. Средняя плотность свежесформованных образцов плит тротуарных от величины прессующего давления

По результатам экспериментальных данных получены оптимальные величины давления, необходимые при вибропрессовании. Величина оптимального давления находится в интервале 0,1...0,2 МПа (рисунок 4.15). При величине давления пригруза менее 0,1 МПа его недостаточно для уплотнения системы, а при давлении более 0,2 МПа также не достигается максимальное уплотнение.

Подбор соотношения величины прессующего давления и времени основной вибрации также производили по показателям плотности свежесформованных образцов (рисунок 4.16).

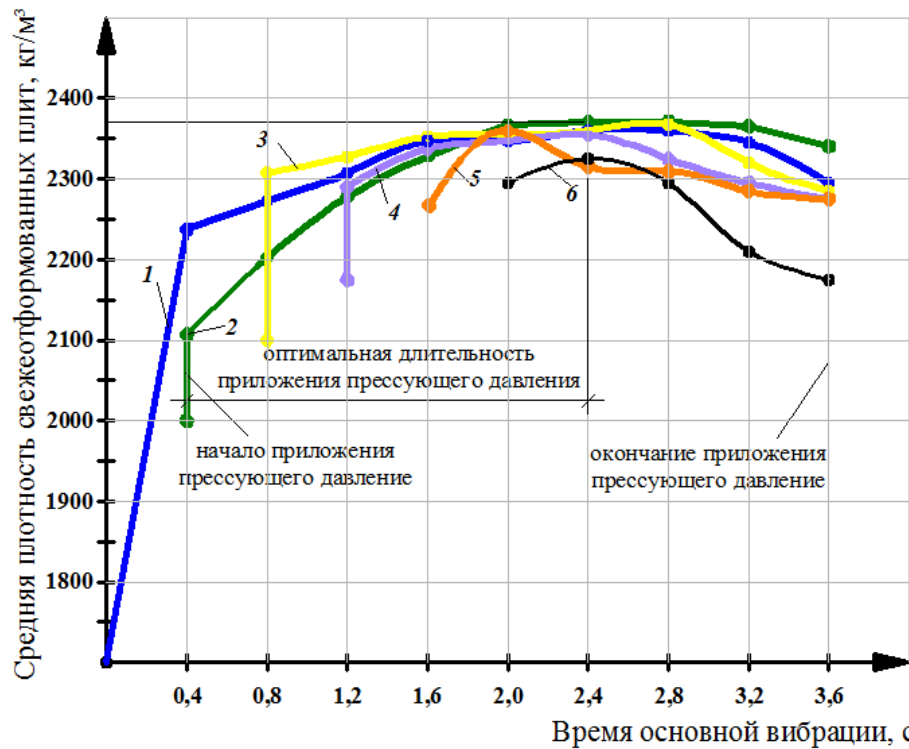


Рисунок 4.16. Зависимость средней плотности свежеотформованных плит тротуарных от длительности приложения прессующего давления (0,15 МПа) с начала вибрации:
1 – 0 с ; 2 – 0,4 с ; 3 – 0,8 с ; 4 – 1,2 с ; 5 – 1,6 с ; 6 – 2,0 с

Время приложения прессующего давления до определенной величины, или так называемой оптимальной, создает условия для эффективного совместного вибрационного и прессующего воздействия, обеспечивая увеличение плотности свежеотформованных образцов. Превышение длительности приложения прессующего давления, отмеченного как оптимальное, приводит либо к прекращению роста плотности, либо к разрушению образца.

4.4.2. Комплексное влияние параметров вибропрессования на свойства плит бетонных тротуарных

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) [147, 148].

В качестве варьируемых независимых технологических факторов были выбраны: 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 ($\rho_{\text{свежеотформ}}$) и прочность на сжатие плит ($R_{\text{сж}}$). Выбранные технологические факторы были исследованы в пределах, указанных в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Условия планирования эксперимента

Фактор		Уровень варьирования			Интервал варьирования
натуральный вид	кодированный вид	– 1	0	+1	
Продолжительность основной вибрации, с	X_1	2,0	2,4	2,8	0,4
Величина прессующего давления, МПа	X_2	0,10	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.

Эксперимент проведен по трехуровневому плану и результаты представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Матрица планирования и экспериментальные данные

№ п/п	Фактор			$\rho_{\text{свежеотформ, изделий, кг/м}^3}$	$R_{\text{сж 28, МПа}}$
	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 [149...151].

Расчет параметров для определения коэффициентов уравнения регрессии для средней плотности и прочности на сжатие представлен в таблицах 4.4, 4.5.

Расчетные значения коэффициентов уравнения регрессии для средней плотности и прочности на сжатие представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6

Расчетные значения коэффициентов уравнения регрессии

Показатель \ Коэффициенты	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9	b_{10}
$\rho_{\text{свежеотформ}}, \text{ кг/м}^3$	2350	14,1	4,9	-2,9	-24,1	-49,1	5,8	1,3	-2,6	2,3
$R_{\text{сж}}, \text{ МПа}$	58,6	3,5	1,02	0,17	-2,8	-6,6	0,3	-0,4	-0,3	-0,2

Для проверки значимости коэффициентов определены среднеарифметическое значение, дисперсия воспроизводимости, среднеквадратическое отклонение выходного параметра и среднеквадратичная ошибка.

Расчетные значения критериев Стьюдента для плотности свежеотформованных образцов и прочности представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7

Расчетные значения критерия Стьюдента

	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}
$\rho_{\text{свежеотформ}}, \text{ кг/м}^3$	2088,59	16,95	5,59	3,49	15,01	30,58	3,65	1,48	2,82	2,55
$R_{\text{сж}}, \text{ МПа}$	2,29	0,19	0,053	0,009	0,079	0,181	0,009	0,020	0,017	0,009

Таблица 4.4

Расчет параметров для определения коэффициентов уравнения регрессии для плотности свежесформованных вибропрессованных плит бетонных тротуарных

		при линейных членах					при квадратичных членах			при взаимодействиях		
Y_1	X_1	Y_1X_1	X_2	Y_1X_2	X_3	Y_1X_3	$Y_1X_1^2$	$Y_1X_2^2$	$Y_1X_3^2$	$Y_1X_1X_2$	$Y_1X_1X_3$	$Y_1X_2X_3$
2300	1	2300	1	2300	1	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
2315	1	2315	1	2315	-1	-2315	2315	2315	2315	2315	-2315	-2315
2290	1	2290	-1	-2290	1	2290	2290	2290	2290	-2290	2290	-2290
2280	1	2280	-1	-2280	-1	-2280	2280	2280	2280	-2280	-2280	2280
2285	-1	-2285	1	2285	1	2285	2285	2285	2285	-2285	-2285	2285
2274	-1	-2274	1	2274	-1	-2274	2274	2274	2274	-2274	2274	-2274
2265	-1	-2265	-1	-2265	1	2265	2265	2265	2265	2265	-2265	-2265
2260	-1	-2260	-1	-2260	-1	-2260	2260	2260	2260	2260	2260	2260
2340	1	2340	0	0	0	0	2340	0	0	0	0	0
2300	-1	-2300	0	0	0	0	2300	0	0	0	0	0
2280	0	0	1	2280	0	0	0	2280	0	0	0	0
2310	0	0	-1	-2310	0	0	0	2310	0	0	0	0
2330	0	0	0	0	1	2330	0	0	2330	0	0	0
2370	0	0	0	0	-1	-2370	0	0	2370	0	0	0
2350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сумма		141		49		-29	22909	22859	22969	11	-21	-19
39244												

Таблица 4.5

**Расчет параметров для определения коэффициентов уравнения регрессии для прочности на сжатие
вибропрессованных плит бетонных тротуарных**

		при линейных членах					при квадратичных членах			при взаимодействиях		
Y_2	X_1	Y_2X_1	X_2	Y_2X_2	X_3	Y_2X_3	$Y_2X_1^2$	$Y_2X_2^2$	$Y_2X_3^2$	$Y_2X_1X_2$	$Y_2X_1X_3$	$Y_2X_2X_3$
54,5	1	54,5	1	54,5	1	54,5	54,5	54,5	54,5	54,5	54,5	54,5
55,6	1	55,6	1	55,6	-1	-55,6	55,6	55,6	55,6	55,6	-55,6	-55,6
53,6	1	53,6	-1	-53,6	1	53,6	53,6	53,6	53,6	-53,6	53,6	-53,6
50,4	1	50,4	-1	-50,4	-1	-50,4	50,4	50,4	50,4	-50,4	-50,4	50,4
49,6	-1	-49,6	1	49,6	1	49,6	49,6	49,6	49,6	-49,6	-49,6	49,6
45,7	-1	-45,7	1	45,7	-1	-45,7	45,7	45,7	45,7	-45,7	45,7	-45,7
43,5	-1	-43,5	-1	-43,5	1	43,5	43,5	43,5	43,5	43,5	-43,5	-43,5
42,3	-1	-42,3	-1	-42,3	-1	-42,3	42,3	42,3	42,3	42,3	42,3	42,3
57,4	1	57,4	0	0	0	0	57,4	0	0	0	0	0
54,7	-1	-54,7	0	0	0	0	54,7	0	0	0	0	0
49,6	0	0	1	49,6	0	0	0	49,6	0	0	0	0
55	0	0	-1	-55	0	0	0	2	0	0	0	0
56,5	0	0	0	0	1	56,5	0	0	56,5	0	0	0
62	0	0	0	0	-1	-62	0	0	62	0	0	0
58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сумма		35,7		10,2		1,7	507,3	499,8	513,7	-3,4	-3	-1,6
904,6												

С учетом выше изложенного, получены адекватные уравнения регрессии зависимости выходных параметров для плотности свежеотформованных изделий и прочности на сжатие от исследуемых факторов:

– для средней плотности свежеотформованных изделий:

$$\rho_{\text{свежеотформ}} = 2350 + 14,1 \cdot X_1 + 4,9 \cdot X_2 - 2,9 \cdot X_3 - 24,1 \cdot X_1^2 - 49,1 \cdot X_2^2 + 5,8 \cdot X_3^2 + 1,3 \cdot X_1 \cdot X_2 - 2,6 \cdot X_1 \cdot X_3 + 2,3 \cdot X_2 \cdot X_3,$$

– для прочности на сжатие:

$$R_{\text{сж}}^{28} = 58,6 + 3,5 \cdot X_1 + 1,02 \cdot X_2 + 0,17 \cdot X_3 - 2,8 \cdot X_1^2 - 6,6 \cdot X_2^2 + 0,3 \cdot X_3^2 - 0,4 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,3 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,2 \cdot X_2 \cdot X_3.$$

Для проверки адекватности полученных уравнений регрессии, входящих в математические модели, определяли дисперсию адекватности и критерий Фишера F_p . По расчетным значениям уравнения регрессии являются адекватными.

Используя полученные математические модели, проведем анализ влияния исследуемых факторов на плотность свежеотформованных изделий и прочность на сжатие плит тротуарных.

Зависимости средней плотности свежеотформованных изделий и прочности на сжатие вибропрессованных плит бетонных от продолжительности основной вибрации представлены на рисунке 4.17.

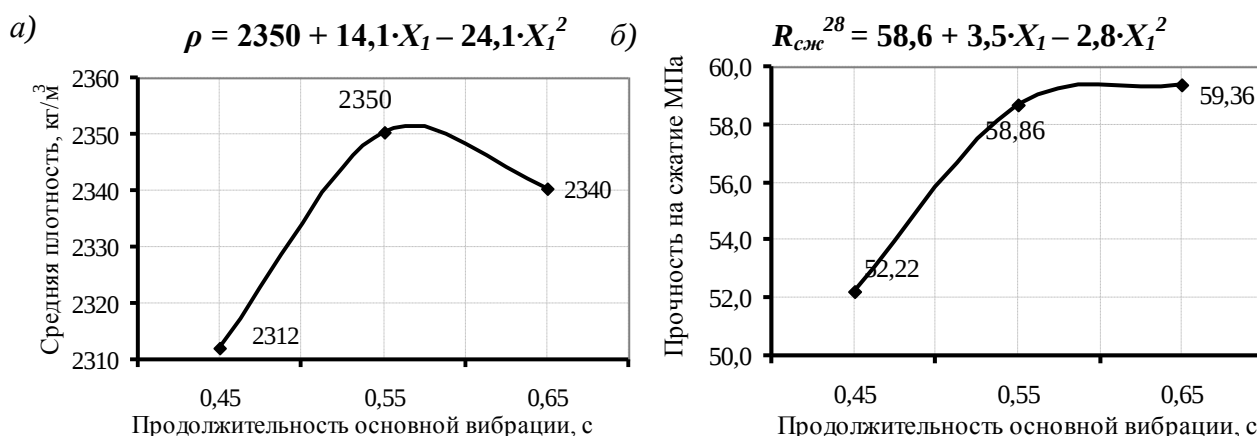


Рисунок 4.17. Зависимости средней плотности свежеотформованных образцов (а) и прочности на сжатие (б) вибропрессованных плит бетонных от продолжительности основной вибрации

Кривая зависимости средней плотности имеет криволинейный характер, при продолжительности основной вибрации до 0,55 с происходит увеличение средней плотности, а при увеличении продолжительности основной вибрации

до 0,65 с наблюдается снижение плотности. Кривая зависимости прочности на сжатие имеет возрастающий характер, с увеличением продолжительности основной вибрации прочность на сжатие возрастает.

Зависимости средней плотности свежеотформованных изделий и прочности на сжатие вибропрессованных плит бетонных от величины прессующего давления представлены на рисунке 4.18.

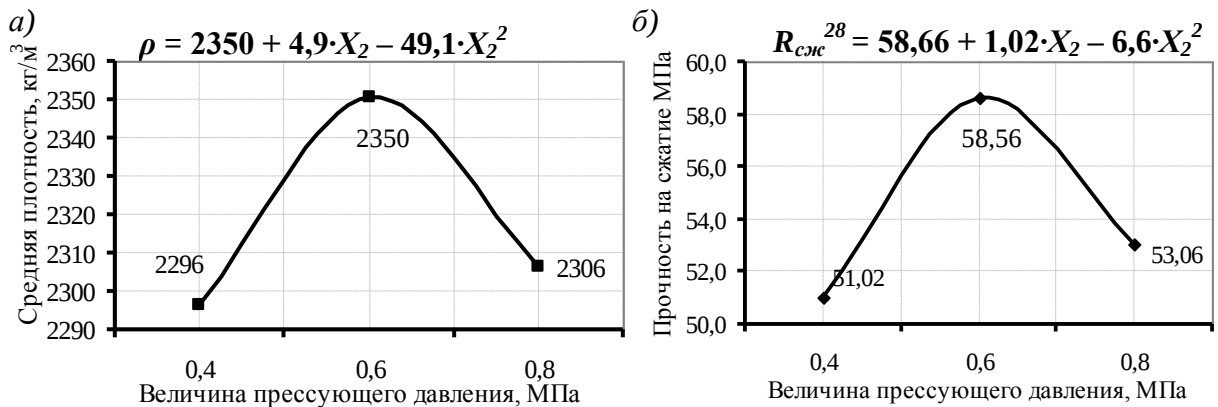


Рисунок 4.18. Зависимости плотности свежеотформованных образцов (а) и прочности на сжатие (б) вибропрессованных плит бетонных от величины прессующего давления

С увеличением величины прессующего давления до 0,6 МПа происходит увеличение средней плотности и прочности на сжатие образцов, при дальнейшем увеличении величины прессующего давления до 0,8 МПа средняя плотность и прочность на сжатие снижаются.

Зависимости плотности свежеотформованных изделий и прочности на сжатие вибропрессованных плит бетонных от момента приложения прессующего давления от начала вибрации представлены на рисунке 4.19.

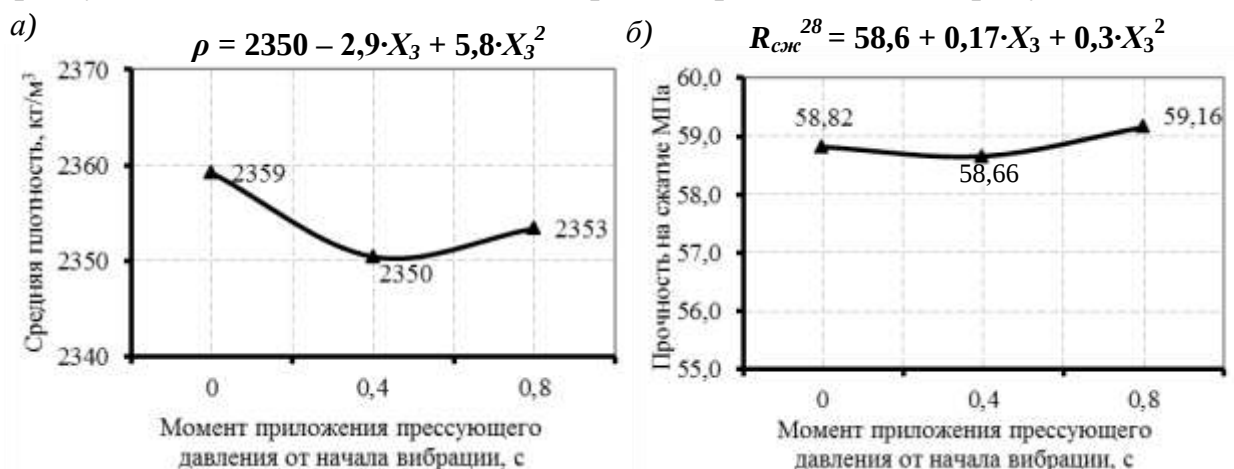


Рисунок 4.19. Зависимости плотности свежеотформованных изделий (а) и прочности на сжатие (б) вибропрессованных плит бетонных от момента приложения прессующего давления от начала вибрации

Кривые изменения средней плотности и прочности на сжатие от момента приложения прессующего давления от начала вибрации имеют криволинейный характер. При приложении прессующего давления на 0,4 с от начала вибрации средняя плотность и прочность на сжатие уменьшаются, а при приложении на 0,8 с – увеличивается.

Комплексное представление о влиянии продолжительности основной вибрации, величины прессующего давления и момента приложения прессующего давления от начала вибрации на среднюю плотность и прочность на сжатие можно получить, построив с помощью математической модели номограммы (рисунки 4.20...4.25). Номограммы позволяют оптимизировать технологический процесс и эффективно им управлять, при использовании номограммы можно поддерживать на заданном уровне выходной параметр, изменяя соответствующим образом факторы, входящие в уравнение регрессии.

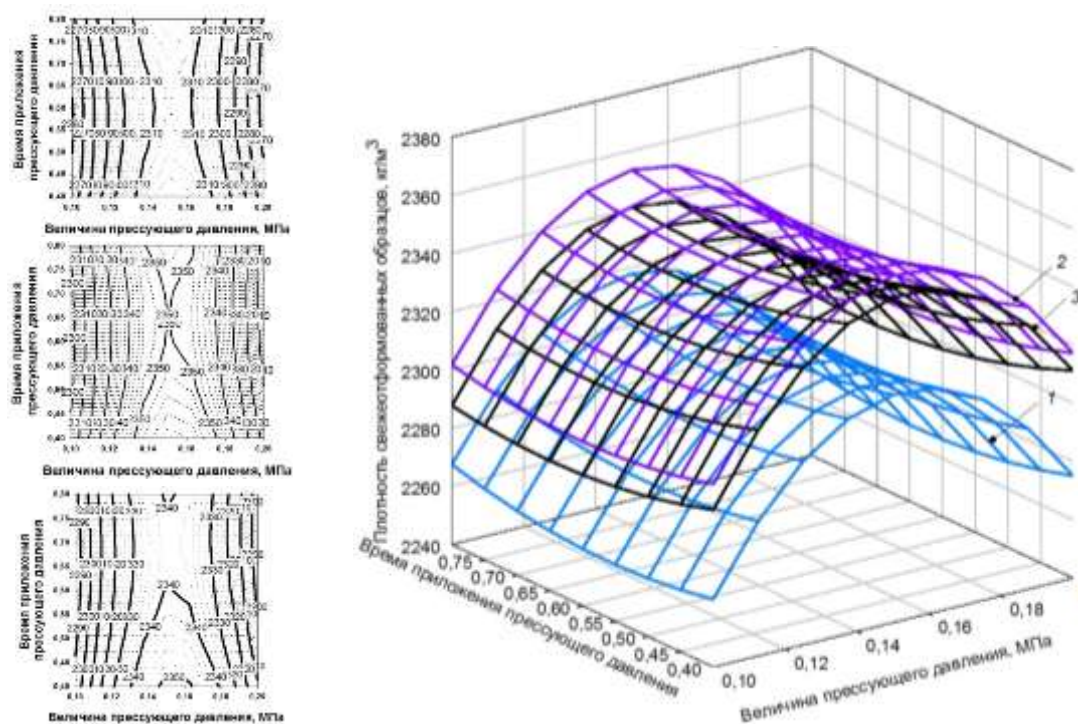


Рисунок 4.20. Зависимость средней плотности свежесформованных изделий вибропрессованных плит бетонных от продолжительности основной вибрации, величины прессующего давления и момента приложения прессующего давления от начала вибрации:

1 – продолжительность основной вибрации – 2 с; 2 – продолжительность основной вибрации – 2,4 с; 3 – продолжительность основной вибрации – 2,8 с

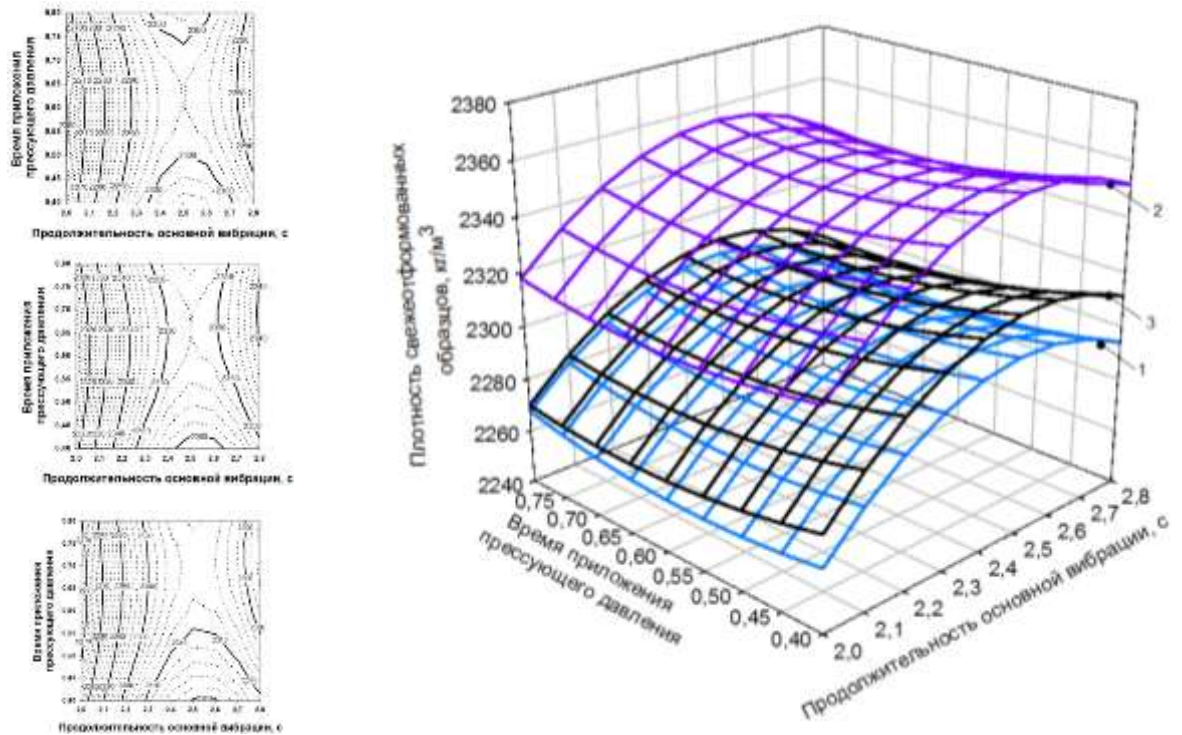


Рисунок 4.21. Зависимость средней плотности свежесформованных изделий вибропрессованных плит бетонных от продолжительности основной вибрации, величины прессующего давления и момента приложения прессующего давления от начала вибрации:

1 – величина прессующего давления – 0,10 МПа; 2 – величина прессующего давления – 0,15 МПа; 3 – величина прессующего давления – 0,20 МПа

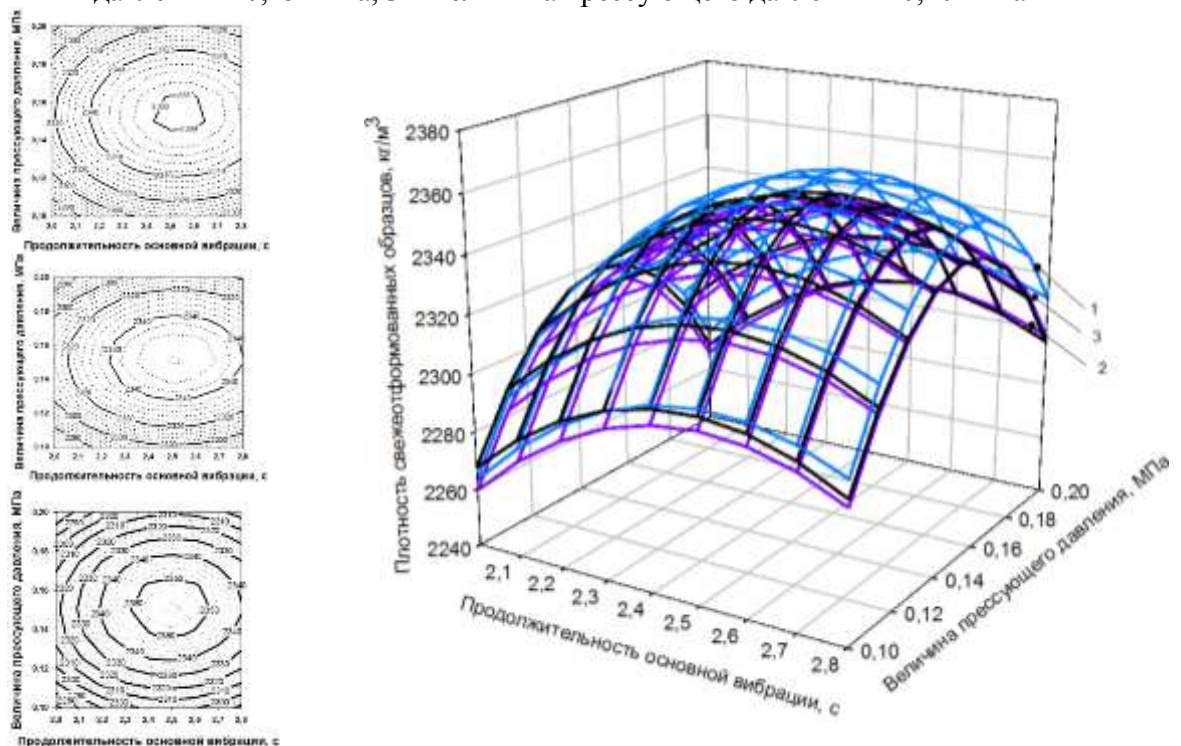


Рисунок 4.22. Зависимость средней плотности свежесформованных изделий вибропрессованных плит бетонных от продолжительности основной вибрации, величины прессующего давления и момента приложения прессующего давления от начала вибрации:

1 – момент приложения прессующего давления от начала вибрации – 0,4 с;
2 – момент приложения прессующего давления от начала вибрации – 0,6 с;
3 – момент приложения прессующего давления от начала вибрации – 0,8 с

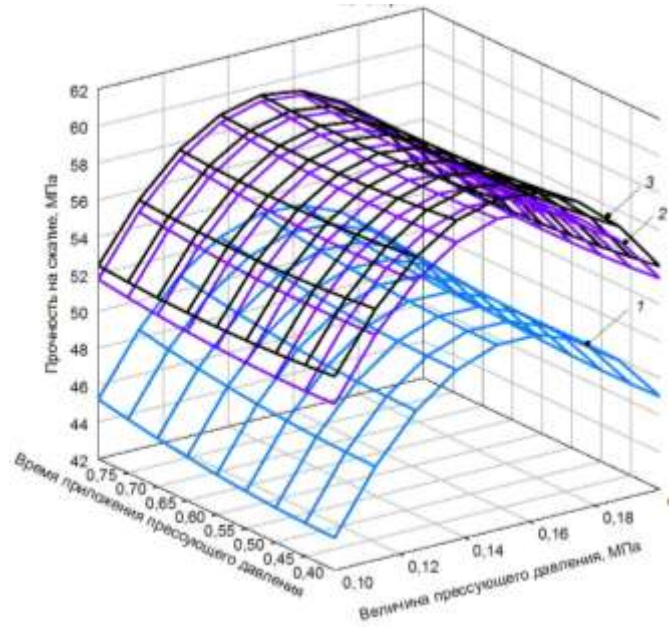
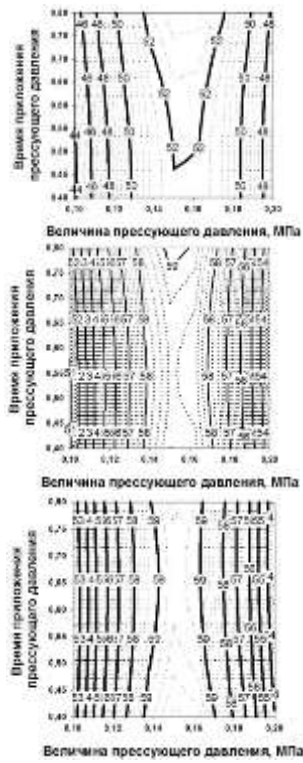


Рисунок 4.23. Зависимость прочности на сжатие вибропрессованных плит бетонных от продолжительности основной вибрации, величины прессующего давления и момента приложения прессующего давления от начала вибрации:

1 – продолжительность основной вибрации – 2 с; 2 – продолжительность основной вибрации – 2,4 с; 3 – продолжительность основной вибрации – 2,8 с

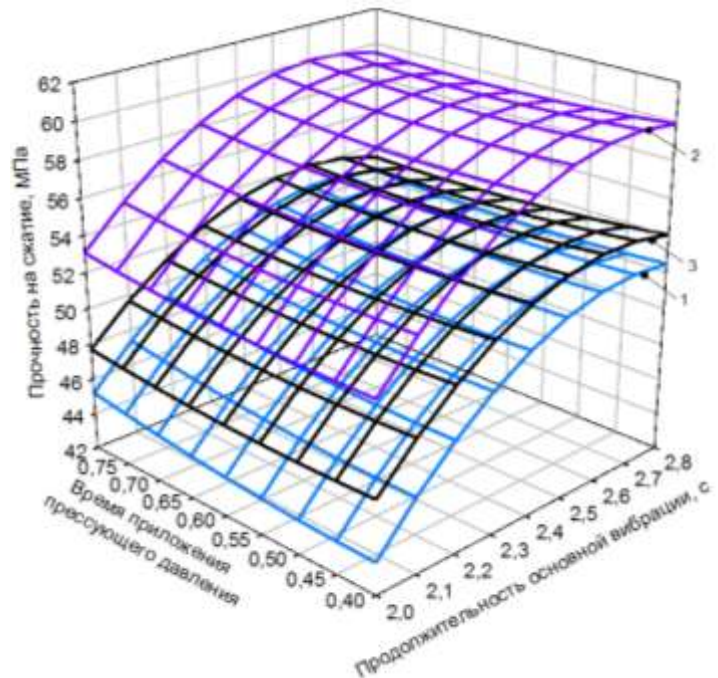
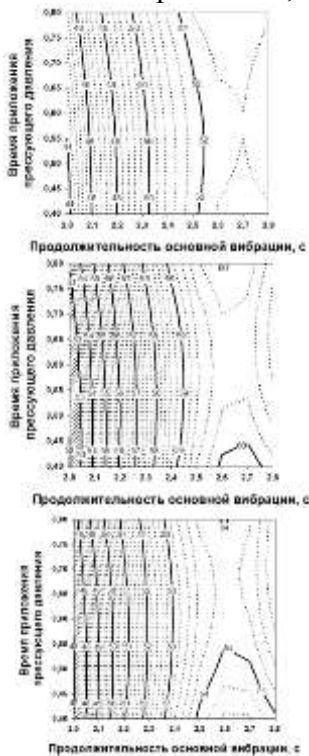


Рисунок 4.24. Зависимость прочности на сжатие вибропрессованных плит бетонных от продолжительности основной вибрации, величины прессующего давления и момента приложения прессующего давления от начала вибрации: 1 – величина прессующего давления – 0,10 МПа; 2 – величина прессующего давления – 0,15 МПа;

3 – величина прессующего давления – 0,20 МПа

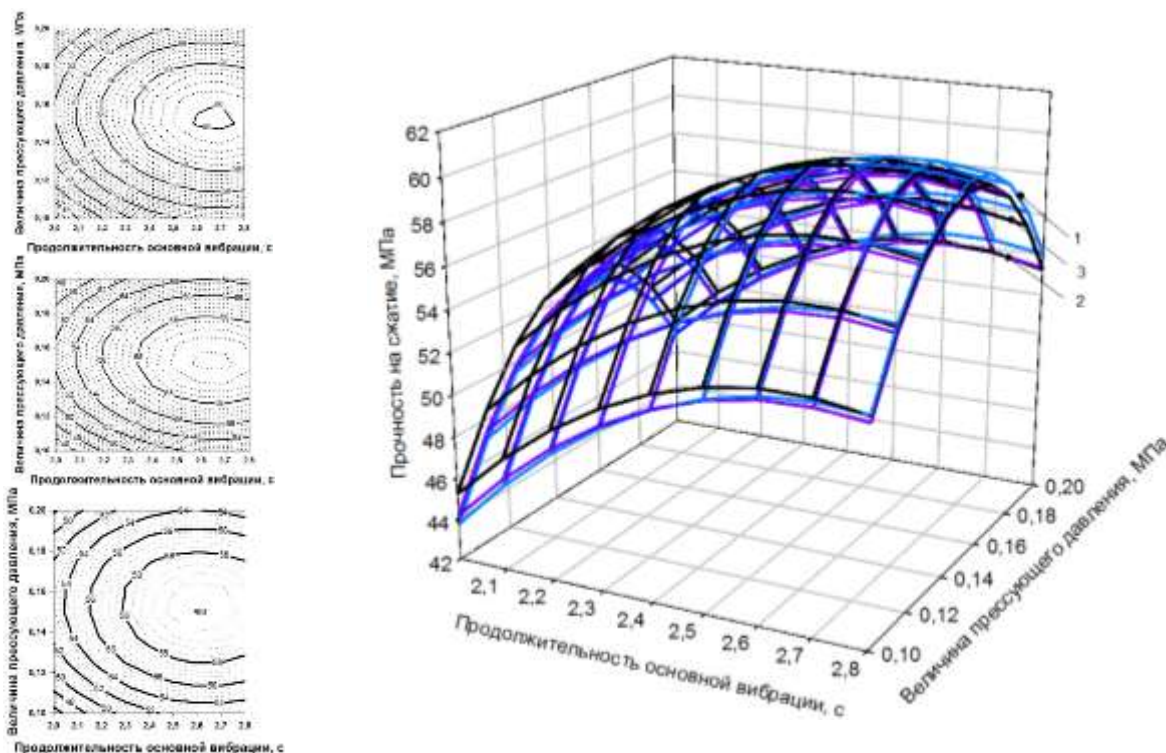


Рисунок 4.25. Зависимость прочности на сжатие вибропрессованных плит бетонных от продолжительности основной вибрации, величины прессующего давления и момента приложения прессующего давления от начала вибрации:

- 1 – момент приложения прессующего давления от начала вибрации – 0,4 с;
- 2 – момент приложения прессующего давления от начала вибрации – 0,6 с;
- 3 – момент приложения прессующего давления от начала вибрации – 0,8 с

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.

4.5. Сохранение качества свежесформованных изделий при распалубке

По окончании основного процесса уплотнения следует процесс распалубки. При этом форма поднимается, а пуансон заблокирован на раме машины с помощью тормоза пуансона. Готовое изделие, таким образом, остается на поддоне. Форма поднимается, освобождая камни, пластины пуансона имеют контакт с плитой. В этот момент отключаются тормоза

пуансона, и форма, упираясь в пуансон, приподнимает его над свежесформованным изделием, полностью освобождая его.

При этом, одним из факторов, влияющим на качество продукта, является процесс отключения тормозов пуансона. Если тормоз пуансона отпускается преждевременно, то пуансон давит на свежесформованный продукт собственным весом, пока его приподнимает форма. Под сильным давлением изделие разрушается.

Скорость распалубки также имеет большое значение. Она должна быть максимальной, но не приводить к разрушению изделий. При распалубке создается вакуум, особенно при достаточной влажности свежесформованного изделия, в результате чего, на торцах изделия появляются пузыри и раковины, что можно исправить снижением скорости распалубки.

Одной из основных проблем распалубки свежесформованных изделий, особенно двухслойных плит бетонных тротуарных, является, так называемый подрыв бетона (рисунок 4.26).



Рисунок 4.26. Подрыв на плите бетонной тротуарной

Если облицовочная бетонная смесь имеет влажность больше, чем оптимальное значение, в процессе распалубки может возникнуть отрывание бетона с поверхности изделия по причине налипания его на пуансон. Это связано с механизмом сцепления между бетоном и пуансоном. Поверхностное натяжение воды создает «капиллярный мост» между бетоном и пуансоном (рисунок 4.27).



Рисунок 4.27. «Капиллярный» мост между бетоном и пуансоном

При подъеме пуансона в закрытых порах возникает пониженное давление. Сила сцепления становится больше, чем сила когезии, в результате чего и происходит «вырывание» материала.

Водоцементное отношение должно быть подобрано таким образом, чтобы не происходило «вырывание» бетона, при этом воды было достаточно для гидратации и уплотнения смеси. Важно поддерживать стабильную влажность бетонной смеси основного и облицовочного слоев.

4.6. Структура и свойства вибропрессованных плит бетонных тротуарных

По оптимизированным параметрам вибропрессования производственной линии «HESS» на разработанном составе с применением модификатора Murasan BWA 19, рациональными гранулометрией заполнителя и водоцементным отношением были заформованы двухслойные вибропрессованные плиты бетонные тротуарные и исследованы их основные технические характеристики (таблица 4.8, 4.9).

Таблица 4.8

Параметры вибропрессования плит бетонных тротуарных на вибропрессе «HESS RH-1500»

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

Таблица 4.9

Состав вибропрессованных двухслойных плит тротуарных

Слой	Расход материалов, кг/м ³						В/Ц
	портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н	песок вяземский	песок курский	щебень фракции 2...5 мм	щебень фракции 5...10 мм	Murasan BWA 19	
Основной	320	736	184	311	727	1,3	0,38
Облицовочный	460	1360	340	—	—	1,84	0,38

Полученная вибропрессованная плита бетонная тротуарная по своим эксплуатационным свойствам превышает традиционные образцы плит бетонных тротуарных (таблица 4.10).

Таблица 4.10

**Технические характеристики двухслойных
вибропрессованных плит тротуарных**

Наименование показателя	Базовый показатель по ГОСТ 17608-91	Контрольный состав	Разработанный состав
Прочность на сжатие свежеотформованного образца, МПа	–		0,65
Прочность на сжатие в возрасте 1 сут, МПа	–	25,0	37,6
Прочность на сжатие в возрасте 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	0,65	0,21

Высокие эксплуатационные свойства подтверждаются результатами исследований на растрово-электронном микроскопе. В разработанных образцах наблюдается плотное сцепление частицы заполнителя с новообразованиями цементного камня, что обусловлено оптимизацией гранулометрии заполнителей, состава жестких бетонных смесей и параметров вибропрессования (рисунок 4.28, а, б). Контрольные образцы достаточно плотные, но с наличием отслоения гидратированного цементного камня от поверхности заполнителя.

Работая в различных условиях эксплуатации, вибропрессованные изделия подвергаются механическим нагрузкам, интенсивным динамическим воздействиям, попеременному замораживанию и оттаиванию, увлажнению и высушиванию, воздействию растворов солей, бензомаслопродуктов и т.д. Поэтому для получения долговечной вибропрессованной плиты тротуарной с полифункциональной матрицей необходимо получить изделие с повышенными требованиями по прочности на сжатие, морозостойкости, водопоглощению и истираемости.

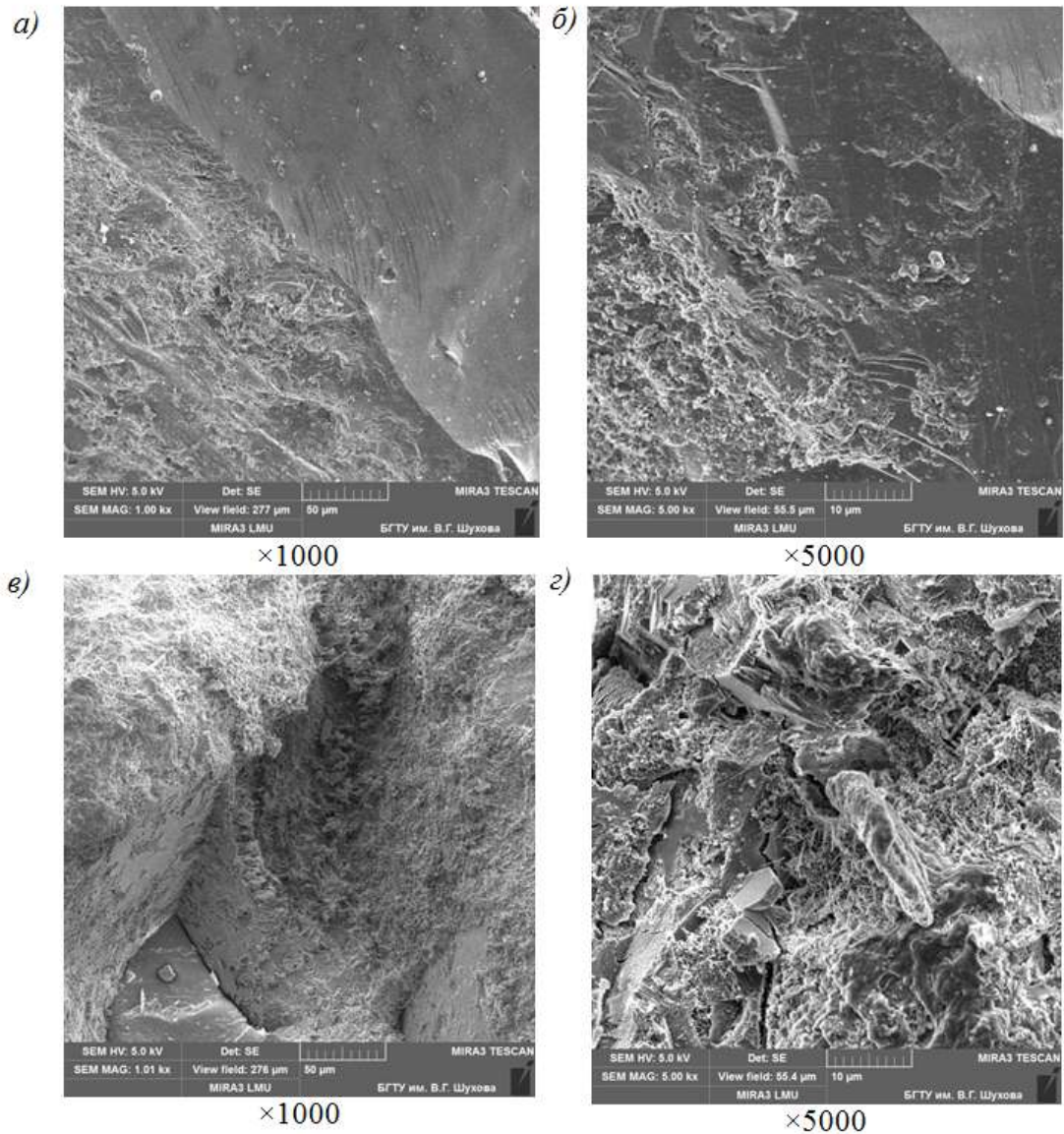


Рисунок 4.28. Контактная зона заполнителя с цементным камнем бетона:
 а, б – рекомендуемого состава; в, г – контрольного состава

Существенной особенностью цементного камня является наличие разветвленной сети пор, имеющих размеры от 1 мм до значений, приближающихся к размерам молекул. Физико-механические свойства бетона и цементного камня в значительной степени связаны с объемом и структурой их порового пространства.

Рассчитан объем капиллярных, контракционных и гелевых пор по методике [152].

Капиллярная пористость:

$$П_{\text{кан тред}} = 0,001 \cdot (B - W_t \cdot \alpha \cdot U) = 0,001 \cdot (185 - 0,5 \cdot 0,65 \cdot 440) = 0,042 = 4,2\%,$$

$$П_{\text{кан разр}} = 0,001 \cdot (B - W_t \cdot \alpha \cdot U) = 0,001 \cdot (122 - 0,5 \cdot 0,65 \cdot 320) = 0,018 = 1,8\%,$$

где B и C – расход воды и цемента; W_t – количество воды, связанное цементным гелем химически и физико-химически, в среднем равно 0,5; α – степень гидратации, изменяющаяся, в среднем равна 0,65.

Контракционная пористость:

$$P_{\text{контр трад}} = 0,001 \cdot q \cdot j \cdot C = 0,001 \cdot 0,1 \cdot 0,65 \cdot 440 = 0,0286 = 2,86\%,$$

$$P_{\text{контр разр}} = 0,001 \cdot q \cdot j \cdot C = 0,001 \cdot 0,1 \cdot 0,65 \cdot 320 = 0,0208 = 2,08\%.$$

где q – коэффициент контракции, представляющий собой объем контракционных пор, образующихся при полной гидратации одного грамма цемента (в среднем 0,1 для портландцемента).

Гелевая пористость:

$$P_{\text{гел трад}} = 0,001 \cdot j \cdot \alpha \cdot C = 0,001 \cdot 0,2 \cdot 0,65 \cdot 440 = 0,0572 = 5,72\%$$

$$P_{\text{гел разр}} = 0,001 \cdot j \cdot \alpha \cdot C = 0,001 \cdot 0,2 \cdot 0,65 \cdot 320 = 0,0416 = 4,16\%$$

где j – объем адсорбционно связываемой гелем воды ($j = 0,2$).

В соответствии с методикой [123], связанной с насыщением бетона водой, основной характеристикой пористости является полный объем пор ($P_{\text{пол}}$) и величина открытой пористости ($P_{\text{отк}}$). Данная методика характеризует именно те поры, которые определяют его морозостойкость, водопоглощение и в целом долговечность.

Результаты определения пористости вибропрессованных плит бетонных тротуарных представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11

Пористость вибропрессованных плит бетонных тротуарных

Состав	Расход материалов, кг/м ³						В/Ц	Пористость, %	
	цемент	весок вяземский	песок курский	щебень фракции 2..5 мм	щебень фракции 5...10 мм	Murasan BWA 19		общая	откр.
Контрольный	440	200	834	100	650	–	0,42	19,3	12,5
Разработанный	320	736	184	311	727	1,3	0,38	16,1	5,58

Из таблицы 4.11 видно, что в образцах разработанного состава плит тротуарных происходит снижение общей пористости в 1,5 раза, а открытой – в 2,2 раза по сравнению с контрольным составом, что обусловлено

оптимизацией гранулометрии заполнителя и водоцементного отношения, применением модификатора и подобранных режимов вибропрессования.

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, формированию плотной однородной структуры полифункциональной матрицы композита, повышению прочности на сжатие в 1,5 раза, морозостойкости в 2 раза, снижению водопоглощения в 2,3, истираемости в 3 раза и, в целом, повышению долговечности плит бетонных тротуарных.

4.7. Выводы

1. Разработаны мероприятия, обеспечивающие качество и сохранение стабильности свойств бетонных смесей, что способствует повышению эксплуатационных характеристик плит бетонных тротуарных.

2. Установлены факторы и оптимальные параметры, способствующие равномерному заполнению всех ячеек формы жесткой бетонной смесью при изготовлении методом полусухого вибропрессования плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей, что существенно повышает их эксплуатационные свойства и архитектурную выразительность.

3. Установлены оптимальные параметры вибропрессования для производства плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей.

Получены адекватные уравнения регрессии зависимости средней плотности свежесформованных изделий и прочности на сжатие плит бетонных тротуарных от технологических режимов и параметров вибропрессования, что позволяет оперативно управлять технологическим процессом.

4. По результатам анализа микроструктуры изделий выявлено, что разработанные составы плит бетонных тротуарных имеют более плотное

сцепление частиц заполнителя с новообразованиями цементного камня по сравнению с традиционными образцами плит тротуарных, что обусловлено оптимизацией состава жестких бетонных смесей и параметров вибропрессования (частоты и продолжительности вибрации, возмущающей силы вибраторов при предварительной и основной вибрациях, величины и времени приложения давления пуансона).

5. По оптимальным технологическим режимам на разработанных составах получены вибропрессованные плиты бетонные тротуарные с полифункциональной матрицей с высокими эксплуатационными характеристиками: класс по прочности на сжатие В45, водопоглощение W 2,4 %, марка по морозостойкости F400, истираемость 0,21 г/см².

6. 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, формированию плотной однородной структуры полифункциональной матрицы композита, повышению прочности на сжатие в 1,5 раза, морозостойкости в 2 раза, снижению водопоглощения в 2,3, истираемости в 3 раза и, в целом, повышению долговечности плит бетонных тротуарных.

5. ПОВЫШЕНИЕ АРХИТЕКТУРНОЙ ВЫРАЗИТЕЛЬНОСТИ ВИБРОПРЕССОВАННЫХ ПЛИТ БЕТОННЫХ ТРОТУАРНЫХ

5.1. Факторы, влияющие на цвет вибропрессованных плит бетонных тротуарных

В настоящее время наибольший спрос определяют эксклюзивные коллекции плит бетонных тротуарных с фактурными формами и новым окрасом из нескольких цветов.

Выбор пигментов имеет решающее значение для конечного цвета и качества продукта. Для окрашивания бетона используют натуральные (различные оксиды металлов) и синтетические (на основе солей железа, из отходов сталелитейной продукции) пигменты, а также их смеси. Анализ российского и зарубежного опыта окрашивания декоративных бетонов показал, что лучшими характеристиками по стойкости окраски обладают неорганические железooksидные пигменты, с помощью которых можно получить практически любой цвет, тон и оттенок. При этом, красящие пигменты должны выдерживать агрессивное воздействие сильно щелочного цементного вяжущего, быть светостойкими и стойкими к атмосферному воздействию, не растворяться в воде затворения, а также окрашивать цементный камень и прочно закрепляться в его структуре.

Интенсивность цвета пигментов является важнейшей качественной характеристикой. Интенсивность цвета – способность пигмента переносить свой характерный цвет на окрашиваемую среду. Оптимальная дозировка пигмента оказывает решающую роль на конечный цвет готового продукта. С увеличением дозировки пигмента, добавляемого в бетонную смесь, интенсивность цвета сначала растет линейно, а затем наступает предел, при котором увеличение дозировок не приводит к значительному изменению цвета окрашиваемой бетонной поверхности [153].

Оптимальная дозировка пигментов, представленных на сегодняшний день на строительном рынке, колеблется в пределах 2...8 % и зависит как от красящей способности самих пигментов, так и от состава бетонной смеси и получения желаемого цвета и оттенка бетона.

Значительное влияние на цвет оказывают, прежде всего, цвет цемента и мелкого заполнителя, а также их содержание в бетонной смеси. По величине частицы пигмента являются самыми мелкими среди всех компонентов бетонной смеси. Поэтому, сначала пигмент покрывает частицы цемента, а затем уже эта смесь покрывает частицы заполнителя, связывая их при этом между собой.

Декоративный бетон, изготовленный с использованием обычного цемента, имеет менее яркий оттенок по сравнению с бетоном, изготовленным с применением белого цемента (рисунок 5.1).



Рисунок 5.1. Влияние характерного цвета цемента при одинаковой дозировке желтого пигмента: 1 – изделие на белом цементе; 2 – изделие на сером цементе

Чистые и яркие цвета бетонной поверхности возможно получать только применяя при производстве белый цемент. Однако, следует учитывать, о каком именно пигменте идет речь. Необходимо знать, что чистый черный и коричневый цвет можно получить и на сером цементе. Оттенки красного, изготовленного на белом и на сером цементе, будут отличаться незначительно. А вот для желтого и синего цвета, цвет цемента имеет первостепенное значение. Получить чистый оттенок желтого или синего цвета возможно только при применении белого цемента. Вариация цвета серого цемента от светло-серого до зеленовато-серого оказывает влияние на оттенок при производстве облицовочного слоя плит бетонных тротуарных.

На окончательный оттенок бетона повлияет и характерный цвет заполнителя. Для производства окрашенных бетонных изделий наиболее подходящими являются пески белых, светло-серых и светло-желтых оттенков, которые практически не влияют на конечный цвет бетонной поверхности.

Крупный заполнитель не оказывает влияние на окраску бетонного изделия. При двухслойном производстве, когда верхний лицевой слой изготовлен из мелкозернистого бетона, его вообще не видно. При длительной эксплуатации цветных бетонных изделий, из-за воздействия атмосферных осадков и износа бетонной поверхности, при обнажении мелкого и крупного заполнителя цвет бетона будет отличаться.

Залогом получения стабильного цветового оттенка окрашиваемой бетонной поверхности является тщательный подбор и входной контроль всех сырьевых компонентов. Из сырьевых компонентов только пигмент и цемент являются наиболее стабильными по техническим характеристикам материалами. Контролировать цвет природного заполнителя практически невозможно, но при использовании песка с одного карьера, можно добиться получения сырья незначительно отличающегося по характеристикам.

При производстве декоративного бетона следует строго соблюдать последовательность смешивания компонентов. Сначала в бетоносмеситель целесообразно подавать сухой заполнитель и пигмент. Для получения однородной смеси продолжительность перемешивания составляет примерно одну минуту, в течение этого времени разрушаются пигментные агломераты. После получения однородной смеси в смеситель подается цемент. Дальнейшие процессы соответствуют технологии обычного бетона.

Испарение из бетона лишней воды приводит к образованию полостей в виде мелких пор, которые рассеивают падающий свет и, как результат, бетон осветляется. Декоративные бетонные изделия с повышенным водоцементным отношением имеют более светлый оттенок, что характерно как для декоративных, так и серых бетонных изделий.

При производстве плит бетонных тротуарных методом полусухого вибропрессования соблюдение водоцементного отношения является одним из основных факторов, необходимых для получения высококачественной продукции. Если при использовании подвижных бетонных смесей разница в содержании воды в смеси в 2...3 литра будет практически не заметна, то при использовании жестких бетонных смесей, необходимых при производстве

изделий методом полусухого вибропрессования, такая разница приведет к колебанию цвета на 1...2 тона в пределах одной партии. Это связано с тем, что лишняя вода будет выдавливаться на поверхность свежееотформованных изделий, что приведет к дефекту лицевой поверхности, так называемой «апельсиновой корке» (рисунок 5.2).



Рисунок 5.2. Дефект бетонной поверхности типа «апельсиновая корка»

Этот тип дефекта поверхности связан с тем, что в выдавленной на поверхность воде будут находиться самые мельчайшие компоненты бетонной смеси: цемент и пигмент, концентрация которого будет непропорционально высока.

Условия твердения декоративных бетонных изделий также оказывают существенное влияние на конечный оттенок бетонной поверхности. Цементный камень, образующийся в процессе гидратации цемента, состоит из кристаллов, размер которых определяет, как будет рассеиваться свет на бетонной поверхности [154].

Чем выше температура и влажность среды в камере твердения, тем интенсивнее идет образование мелких кристаллов игольчатой формы. Усиленное рассеивание такими кристаллами света приводит к тому, что поверхность осветляется (рисунок 5.3).

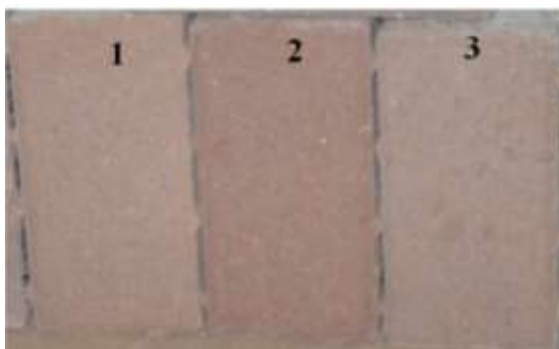


Рисунок 5.3. Влияние температуры среды в камере твердения на цвет изделий:

1 – $t = 23^{\circ}\text{C}$; 2 – $t = 17^{\circ}\text{C}$; 3 – $t = 20^{\circ}\text{C}$

Основываясь на опыте производителей декоративных бетонных изделий и маркетинговых исследованиях в данном секторе рынка, был предложен способ окрашивания бетонной поверхности, при котором одно изделие окрашено в несколько цветов (рисунок 5.4), что позволяет полностью избежать разнотонности изделий [105, 107, 108].



Рисунок 5.4. Плита бетонная тротуарная, окрашенная в несколько цветов

Производство мелкоштучных изделий методом полусухого вибропрессования позволяет получать изделия различных форм, а современные технологии окрашивания, такие как «colormix», позволяют сделать из простой тротуарной дорожки произведение дизайнерского искусства, избежав при этом большого количества технологических проблем.

5.2. Способы предупреждения высолообразования

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.

Накопленный опыт эксплуатации тротуарных покрытий свидетельствует, что их качество зависит не только от показателей внешнего вида элементов, но и от подготовки основания, тщательности укладки и порядка сборки, при этом любые отступления от технологии приводят к снижению декоративных свойств и долговечности в целом. Довольно часто на поверхности бетонных тротуарных плит можно наблюдать высолы (выцветы).

Высолы (выцветы) на поверхностях бетонной продукции влияют не только на ухудшение эстетических свойств строительства, но и на нарушение

внутренней структуры материала, так как снижается его целостность, ускоряется трещинообразование и понижается прочность.

Наличие высолов (выцветов) на поверхностях бетонной продукции обуславливается сложными физико-механическими процессами, происходящими в зависимости от многих факторов, относящихся, в первую очередь, к компонентному составу бетона, прежде всего, к цементу и его химическому и минералогическому составам, к условиям хранения и эксплуатации изделий (без защиты от погодного влияния на открытом воздухе, не под крышей, в окружении зеленых насаждений), к влиянию атмосферных и механических нагрузок. В принципе, все изделия – особенно используемые вне помещений – подвержены естественному процессу старения. Данная проблема относится ко всей продукции, изготовленной на основе цемента, однако, в связи с технологическими особенностями полусухого вибропрессования чаще всего встречается на изделиях, полученных именно этим способом.

Нормативно-техническая документация в системе строительства не регламентирует количество и характер подобных образований на поверхностях изделий – высолов (выцветов), а лишь фиксирует факт их возможного образования [155].

В стандарте DIN EN 1338 «Бетонная брусчатка» значится следующее примечание: «Выцветание не оказывает влияния на пригодность брусчатки к использованию и не рассматривается как существенное». Аналогичные формулировки также содержатся в стандартах по плитам тротуарным и бетонному бордюрному камню [156].

Изложенные ниже примеры выцветания, как правило, не влияют на пригодность к использованию, но по эстетическим причинам часто являются причиной дефектов:

1. Белые пятна – причина белых пятен на поверхности бетонных изделий связана с продолжающимся процессом гидратации цемента в уже отвердевшем материале.

Наблюдения показывают, что белесые высолообразования появляются в течение первого года, затем они постепенно смываются атмосферными осадками и изделия восстанавливают свой первоначальный цвет. Материальной основой этому служит растворенный гидроксид кальция, который по системе пор проникает на поверхность и там связывается с CO_2 , образуя карбонат кальция. Со временем нерастворимые высолы на основе CaCO_3 под действием карбонизации превращаются в более растворимый бикарбонат [157].

Главной причиной образования высолов на поверхности изделий является гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, содержащийся в большом количестве в цементном камне. Однако, для образования высолов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ должен мигрировать по капиллярам на поверхность. Чтобы произошла миграция, необходима разность концентраций $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в жидкой фазе на поверхности и в объеме материала и нужна жидкая фаза (рисунок 5.5).

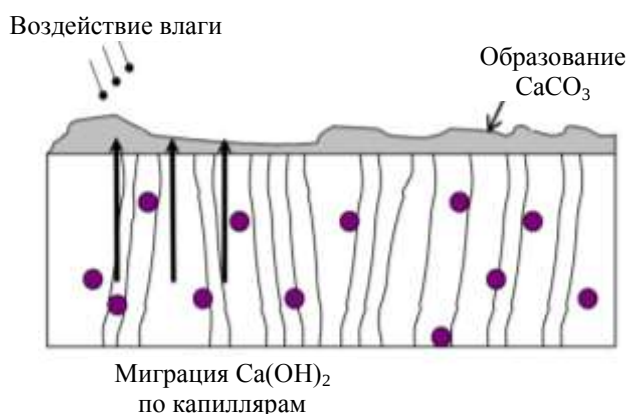


Рисунок 5.5. Схема возникновения высолов (выцветов) на поверхности бетонных изделий

Следовательно, для борьбы с высолами в первую очередь, по возможности, нужно сократить количество свободного $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в цементном камне. Сделать это можно двумя способами:

- использовать цемент с пониженным содержанием трехкальцевого силиката (алита), однако такие цементы характеризуются низкой скоростью твердения и пониженной маркой;

- использовать добавки, которые способны связать свободный $\text{Ca}(\text{OH})_2$, например активные кремнеземистые добавки. Однако, доступные и

дешевые добавки, такие как пуццолановые или золы ТЭС, проявляют себя в должной степени только при интенсивной тепловлажностной обработке.

При оценке эффективности этих способов борьбы с высолами следует отметить, что высолы – это явление поверхностное, и большая часть $\text{Ca}(\text{OH})_2$ остается «запертой» в бетоне.

Способствует образованию высолов наличие капилляров, по которым жидкая фаза цементного камня с растворенным в ней гидроксидом кальция выносится на поверхность изделия. Капилляры образуются в затвердевшей растворной части бетона по двум причинам: неправильно подобранное соотношение «песок – цементное тесто» и состав самого цементного теста. Для снижения капиллярной пористости с помощью уменьшения водосодержания смеси, при обеспечении плотной укладки, применяют интенсивное уплотнение методом вибропрессования. Но, в любом случае, технология не защищает от образования капилляров: их будет меньше или больше, но они будут.

Многолетние наблюдения показали, что при хранении готовых изделий на складе, наибольшее количество высолов образуется в местах соприкосновения изделий друг с другом, где вода не высыхала длительное время. На поверхности изделий вода высыхает достаточно быстро, поэтому образование белесого налета там минимально.

На рисунке 5.6 представлены известковые пятна после преждевременной укладки изделий в сырую холодную погоду.



Рисунок 5.6. Известковые пятна на брусчатке

Если плиты тротуарные или бордюрный камень после резки сразу не промыть, то на бетонных изделиях может образовываться дымчато-белый налет.

Выцветание поверхности бетонных изделий – процесс многофакторный и исключить его практически не возможно, но, снизив до минимума пористость и водопроницаемость бетона, мы сможем снизить миграцию влаги, тем самым повысить качество продукции.

А при выдержке и хранении бетонных изделий на складе необходимо, по возможности, не допускать попадания воды на поверхность изделий.

Если поверхность изделий сухая и в окружающей среде достаточно углекислого газа, то образование CaCO_3 происходит не в устье пор, а внутри капилляров. Поры колыматируются, повышается водостойкость, высолы не появляются. Для интенсификации этого процесса можно использовать принудительную подачу углекислого газа в камеры твердения. Например, подавать из котельной газы, обогащенные CO_2 [158].

Еще одним из вариантов предотвращения высолообразования и выцветания являются прозрачные поверхностные покрытия из водных дисперсий акрилатов или силиконовые пропитки. Покрытие бетона акриловыми дисперсиями создает на его поверхности прозрачную пленку, которая закрывает поры бетона и предотвращает выделение карбоната кальция на поверхности. Малая толщина покрытия ограничивает срок его службы до 2 лет, но этого вполне достаточно, так как белый налет обычно образуется в первые два года.

2. Желто-коричневые пятна – образуются, как правило, из-за соединений железа. Механизмы проникновения на поверхность аналогичны примерам с белыми пятнами (рисунок 5.7).



Рисунок 5.7. Желто-коричневые пятна на бетонных изделиях

Предпосылкой для возникновения желто-коричневых пятен является комплексное воздействие различных факторов: состава бетона, изготовления и хранения продукции.

Кроме того, к выцветанию может также привести ненадлежащий монтаж (на постоянно влажной основе), а также внешние воздействия (например, растительность).

Причины возникновения высолов (выцветов):

- минеральные компоненты зернистой структуры камня;
- природный песок, оттенков от красноватого до коричневого, в выдержанном растворе при испытании в гидроксиде натрия;
- базальтовая мука в качестве бетонной добавки;
- недостаточно обожженный портландцементный клинкер;
- состав некоторых ингибиторов помола;
- основа или пазы, засоренные железной стружкой;
- качество летучей золы каменного угля в качестве бетонной добавки;
- загрязнение удобрениями, содержащими сульфат железа.

В качестве дополнения приведем результат практического опыта, многолетних наблюдений и анализа претензий одного из европейских заводов:

- пятна после струйной обработки (с посторонними включениями);
- после заводской дробеструйной обработки на поверхности продукта остались мелкие частицы железа, и они стали причиной пятен;
- пористая брусчатка (дренажная плитка) выцвела после трехдневного хранения; изготовленная параллельно на втором станке плита с более плотной структурой и при аналогичных условиях хранения пятен не имеет;
- на плите, изготовленной с применением базальтовой крошки, уже через несколько дней хранения на открытом складе проявились пятна; плита, изготовленная вслед за этим на том же станке, но без применения базальта, была обычного серого оттенка.

Пятна можно наблюдать также на плитах, поврежденных из-за взаимодействия щелочи с кремниевым заполнителем. В данном случае они

выступают как просто нежелательное побочное явление, а проблему представляет недостаточная долговечность [156].

3. Зеленый налет – водоросли, лишайники, грибы и мох могут быть причиной зеленоватого цвета поверхности бетонных изделий, эксплуатируемых чаще всего на затененной и влажной территории. Не только изделия из бетона, но и другие материалы, такие как камень и дерево, в соответствующих условиях окружающей среды подверглись бы такому воздействию и покрылись зеленым налетом.

На рисунке 5.8 представлены плиты, уложенные в тени, на которых по истечении полугода появился зеленый налет, а через три года после укладки они покрылись лишайником.



Рисунок 5.8. Зеленый налет и лишайники на плитах

Все эти материалы обладали относительно пористой поверхностью и, таким образом, представляли собой идеальное место для размножения микроорганизмов. Типичная шероховатость поверхности для необработанных блоков и плит, с одной стороны дает необходимое и требуемое в соответствии со стандартами сопротивление скольжению, с другой стороны, это способствует большему загрязнению изделий.

Анализ причин образования высолов (выцветов) на поверхности бетонных изделий, в частности тротуарных плит, позволил обозначить возможные способы предупреждения их возникновения и ликвидации с эксплуатируемых изделий (рисунок 5.9):

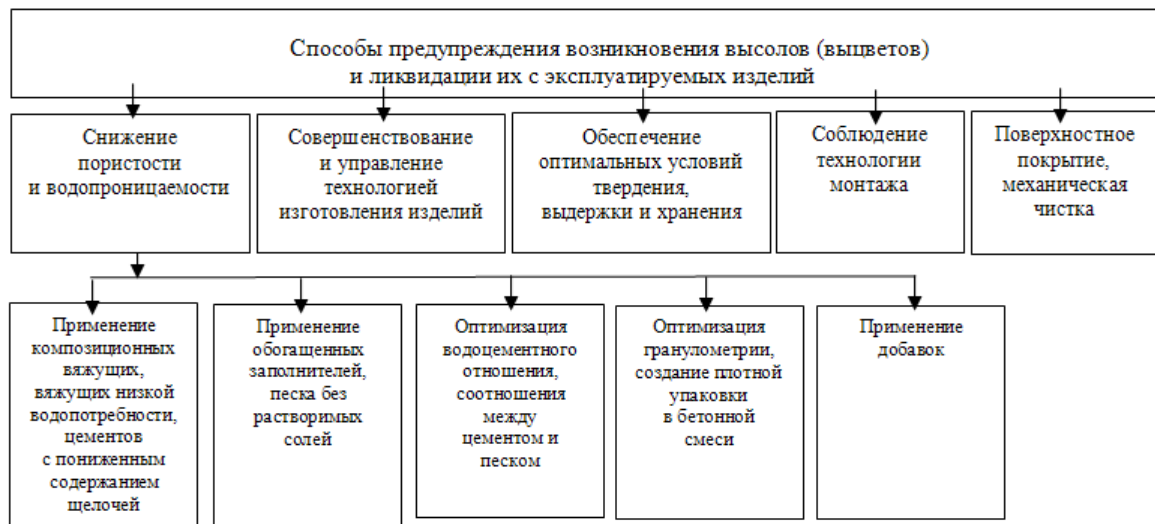


Рисунок 5.9. Способы предупреждения возникновения высолов (выцветов) и ликвидации их с эксплуатируемых изделий

Бетон должен иметь минимально возможную пористость и водопроницаемость. Это может быть достигнуто за счет применения композиционных вяжущих, вяжущих низкой водопотребности, цементов с пониженным содержанием щелочей, обогащенных заполнителей, песка без растворимых солей, добавок, оптимизации водоцементного отношения, соотношения между цементом и песком, granulometry и создания плотной упаковки в бетонной смеси [159], совершенствования и управления технологией изготовления изделий.

В процессе твердения и при последующем хранении бетонной продукции необходимо соблюдать температурно-влажностный режим, защищать поверхность изделий от попадания влаги. Со временем естественные процессы карбонизации понизят вероятность выцветания бетона в процессе эксплуатации.

Необходимо соблюдать технологию монтажа. Если изделия укладывать при высокой относительной влажности, это стимулирует появление пятен, они могут возникнуть уже через несколько дней.

Образования зеленых пятен или налета нельзя избежать полностью. Здесь в качестве профилактики рекомендована регулярная механическая чистка.

Появление высолов возможно предотвратить прозрачными поверхностными покрытиями (гидрофобизаторами).

5.3. Современная технология окрашивания

Нормативные документы, определяющие количество пигмента, необходимое для окрашивания бетонной смеси, были разработаны более сорока лет назад и практически не менялись, несмотря на появление новых технологий перемешивания, уплотнения бетонных смесей и введения в них пигментов.

Поэтому, производители вибропрессованных плит тротуарных вынуждены искать новые способы окрашивания и офактуривания поверхности изделий, для того, чтобы сделать их архитектурно-выразительными и привлекательными с точки зрения эстетических характеристик. Учитывая, что окрашенным будет являться достаточно тонкий облицовочный слой, цена таких изделий должна незначительно отличаться от аналогичных окрашенных изделий и быть значительно меньше, по сравнению со стоимостью декоративных бетонов.

Однако, существующие технологии полусухого вибропрессования бетона не позволяют получить плавный переход цветов в готовом изделии.

Нами разработана технология современного окрашивания типа «colormix» [160], обеспечивающая плавный переход цветов облицовочного слоя бетона с получением каждой единицы продукции в многоцветном исполнении (приложение 2).

Предлагаемый способ изготовления изделий из декоративного бетона методом полусухого вибропрессования включает формирование основного и облицовочного слоев изделий путем подачи бетонной смеси из смесителя в приемочные бункеры, дозирование ее в трансферкары, формование слоев изделий возвратно-поступательным движением трансферкары над матрицей пресс-формы, профилирование смеси основного слоя пуансоном, последующее формование облицовочного слоя и вибропрессование изделий. При этом приемочный бункер облицовочного бетона разделяют в поперечном направлении шибером на промежуточный бункер и основной бункер, а промежуточный бункер снабжают продольными перегородками, не

допускающими смешивания при загрузке порций облицовочного бетона разного цвета. Облицовочный бетон каждого цвета подается в промежуточный приемочный бункер вибропрессовальной машины отдельно (рисунок 5.10), а после завершения подачи облицовочного бетона всех цветов открывают шибер, облицовочная смесь поступает в основной бункер, из которого дозируется в трансферкару. Трансферкара перемещается к матрице и совершает возвратно-поступательные движения над матрицей, чтобы бетон облицовочного слоя поступил в матрицу, в ячейках которой уже находится бетон основного слоя.

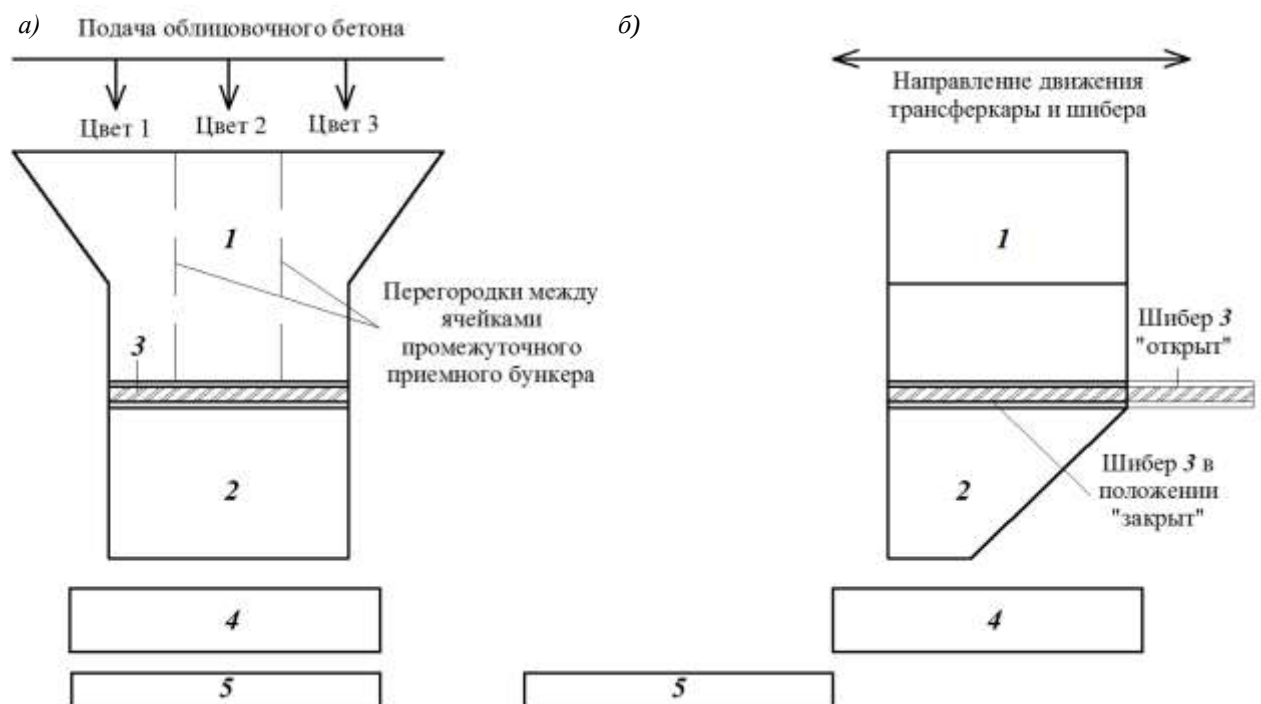


Рисунок 5.10. Поперечный разрез загрузочного оборудования для подачи смеси облицовочного бетона на вибропрессовальную машину (а), вид сбоку загрузочного оборудования (б): 1 – промежуточный приемочный бункер; 2 – основной бункер; 3 – шибер; 4 – трансферкара; 5 – матрица пресс-формы

Промежуточный приемочный бункер 1 снабжен продольными перегородками, не допускающими смешивания порций облицовочного бетона разного цвета. Указанные перегородки разделяют промежуточный приемочный бункер 1 на независимые ячейки, количество которых соответствует количеству разноцветных смесей декоративный бетона, используемых в одном цикле получения изделий. Декоративный бетон каждого цвета подается в промежуточный приемочный бункер 1 отдельно, а

после завершения подачи всех цветов облицовочного бетона шибер 3 открывают, то есть переводят из положения «закрыт», как показано на рисунке 5.10, б, в положение «открыт». Облицовочная смесь опускается (выпадает) в основной бункер 2 облицовочного бетона. При перемещении бетона из промежуточного приемочного бункера 1 в основной бункер 2 происходит частичное смешивание порций разноцветного бетона, которое продолжается на этапе формования изделий. Для формования изделий из основного бункера 2 бетон дозируется в трансферкару 4. Трансферкара 4 представляет собой вагонетку без дна, размещенную под бункером 2 на плоском металлическом столе. Этот стол находится на одном уровне с матрицей 5 пресс-формы и примыкает к ней. Трансферкара 4 перемещается к матрице 5 и совершает возвратно-поступательное движение над матрицей 5 пресс-формы, чтобы бетон облицовочного слоя поступил в ячейки матрицы, в которых уже находится слой основного бетона. Возвратно поступательное движение трансферкары дополнительно размывает границы между отдельно загруженными в бункер порциями декоративного бетона, обеспечивая плавный переход друг в друга разных цветов с получением готового бетонного изделия с расцветкой типа «colormix» (рисунок 5.11).



Рисунок 5.11. Плиты бетонные тротуарные, окрашенные по разработанной технологии

Перегородки внутри промежуточного приемочного бункера облицовочного бетона устанавливают вдоль движения трансферкары по всей длине бункера, а подачу декоративного бетона осуществляют адресно в каждую ячейку промежуточного приемочного бункера отдельно.

В результате получают изделия разнообразной формы и размеров из декоративного бетона, содержащие основной и облицовочный слои, при этом облицовочный слой каждого изделия выполнен многоцветным с плавным переходом друг в друга двух, трех и более цветов бетонной смеси.

Окрашивание плит тротуарных не ухудшает их физико-механические свойства и позволяет получать облицовочный слой с улучшенной микроструктурой (рисунок 5.12, а), характеризующейся более плотным контактом между основным и облицовочным слоями, без пор и пустот, в отличие от контрольных образцов с рыхлой и дефектной структурой контактной зоны (рисунок 5.12, б).

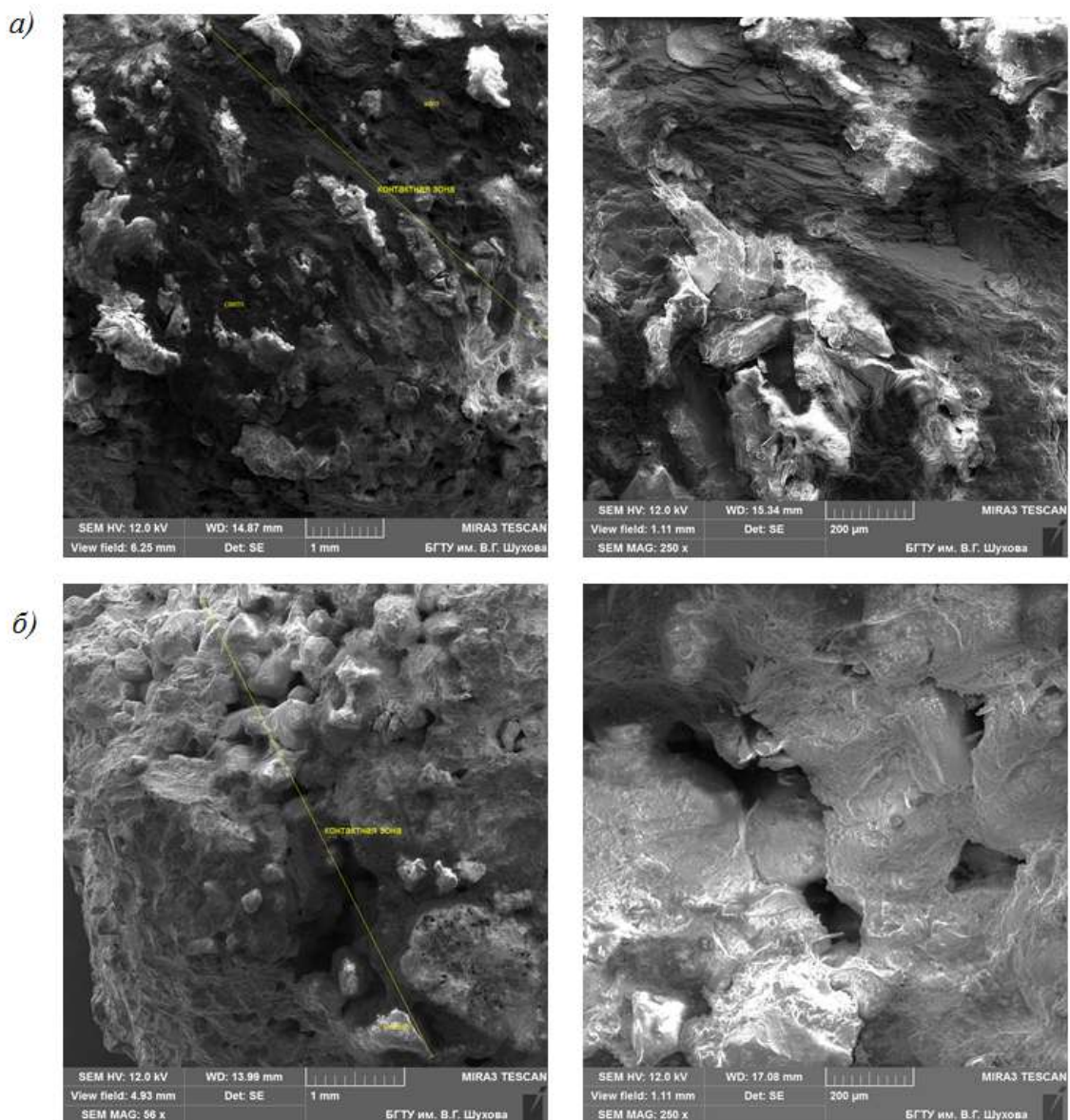


Рисунок 5.12. Контактная зона между облицовочным и основным слоями разработанных (а) и контрольных (б) плит бетонных тротуарных

Цветовая гамма облицовочного слоя может варьироваться в пределах основных цветовых пигментов, а также в зависимости от процентного содержания этих пигментов в составе слоя.

Основные применяемые цвета облицовочного слоя – это красный, зеленый, синий, оранжевый, желтый, коричневый, черный, серый (изготавливается без применения цветовых пигментов), белый (изготавливается без цветовых пигментов с применением белого цемента), горчичный, розовый, бежевый и песочный. Также возможно изготовление и других цветов в зависимости от процентного отношения пигментов при их смешивании по выбранному рецепту (таблица 5.1, рисунок 5.13).

Таблица 5.1

**Составы облицовочного слоя плит бетонных тротуарных
различной цветовой палитры**

Слой	Расход материала, кг/м ³									В/Ц
	ЦЕМІ42,5Н	песок курский	песок вяземский	пигмент*					Murasan BWA-19	
				1	2	3	4	5		
Облицовочный «коричнево- черно- коричневый»	460	340	1360	7,7	6,1	–	–	–	1,84	0,38
Облицовочный «красно-черно- красный»	460	340	1360	–	6,1	9,2	–	–	1,84	0,38
Облицовочный «оранжево- коричнево- оранжевый»	460	340	1360	6,1	1,5	–	15,3	–	1,84	0,38
Облицовочный «коричнево- желто- красный»	460	340	1360	5,9	0,7	0,7	3,4	1,7	1,84	0,38

* Примечание: 1 – коричневый цвет; 2 – черный цвет; 3 – красный цвет; 4 – оранжевый цвет; 5 – желтый цвет.

Изделие может быть выполнено, например, в форме брусчатки, плит тротуарных, бетонного бордюра, поребрика или в виде плоского изделия любой другой формы.

Во время укладки плит тротуарных, окрашенных по предлагаемой технологии, на объектах строительства появляется возможность чередовать переходы цвета между соседними плитами и создавать неповторимые цветовые решения (рисунок 5.14).

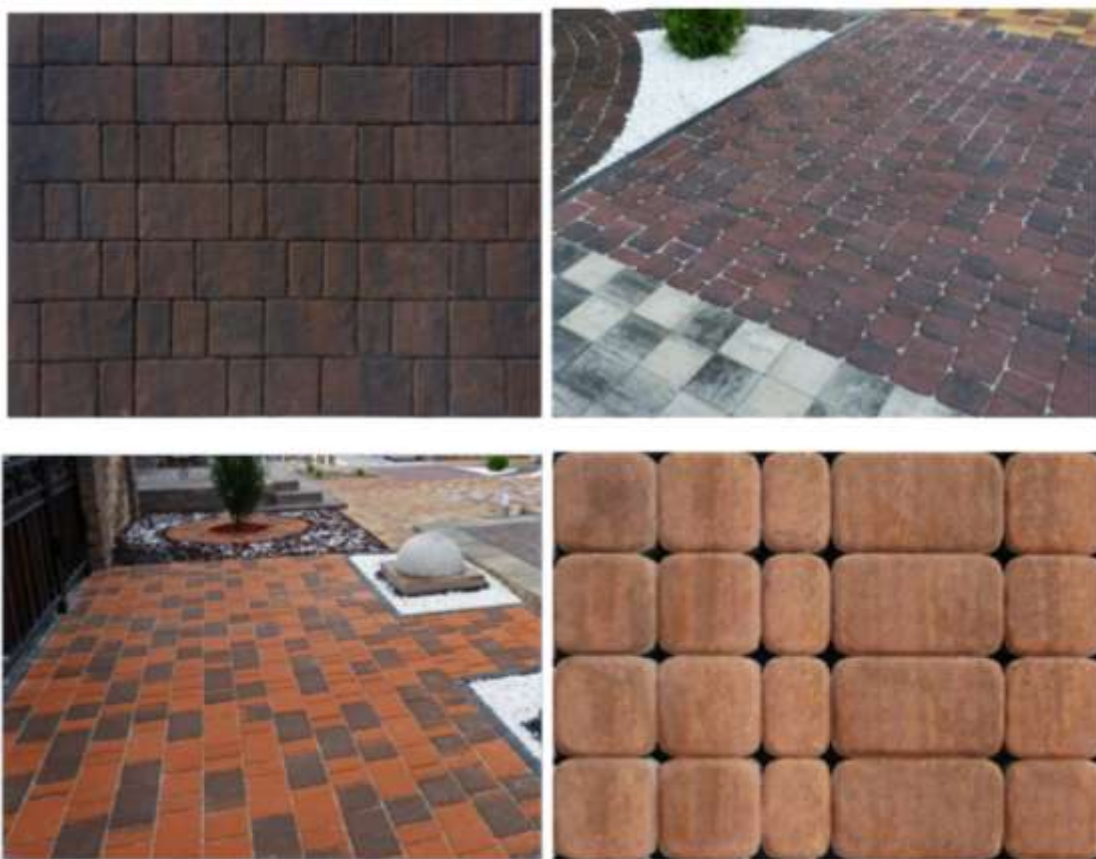


Рисунок 5.13. Применение плит бетонных тротуарных, окрашенных по разработанной технологии «colormix», в благоустройстве территории



Рисунок 5.14. Чередование переходов цвета между плитами тротуарными

Разработанная технология современного окрашивания типа «colormix» обеспечивает плавный переход цветов облицовочного слоя бетона с получением каждой единицы продукции в многоцветном исполнении при высоком уровне механических свойств изделий.

Предложена технологическая схема производства вибропрессованных плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей (рисунок 5.15).

Разработанная технологическая схема производства вибропрессованных плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей включает дозирование исходных компонентов, приготовление бетонных смесей для основного и облицовочного слоев, формирование основного слоя, формирование облицовочного слоя плиты с использованием запатентованной технологии окрашивания «colormix», вибропрессование по разработанным режимам, выдержку, транспортирование и складирование готовой продукции.

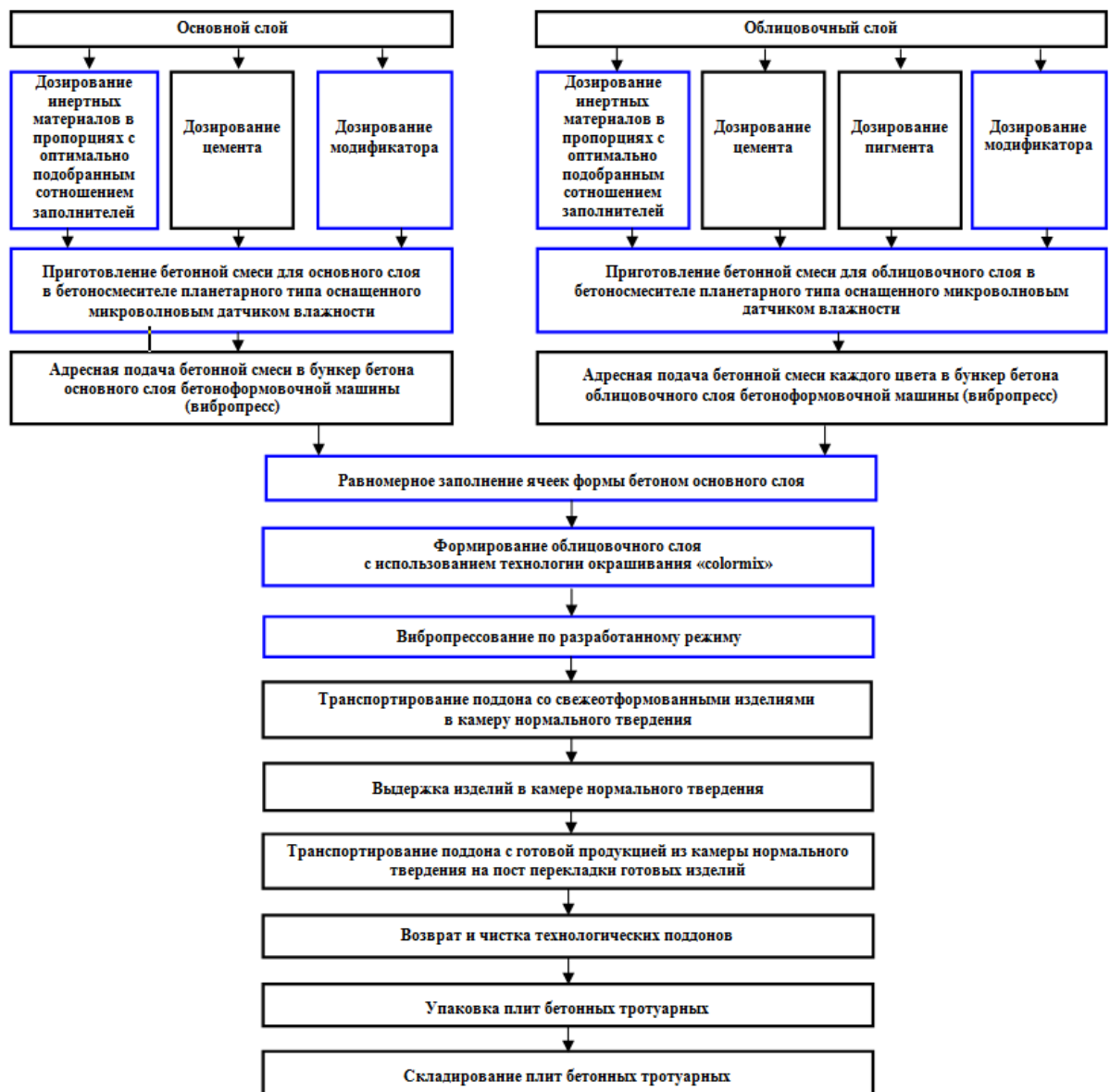


Рисунок 5.15. Технологическая схема производства вибропрессованных плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей

Разработанная технология производства вибропрессованных плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей позволяет получать

высококачественные изделия с повышенными эксплуатационными и декоративными свойствами по сравнению с традиционными аналогами за счет реализации разработанных принципов.

5.4. Выводы

1. Плита бетонная тротуарная является предпочтительным элементом благоустройства территории, в связи с этим необходимо разнообразить формы и расцветки изделий. Основными факторами, влияющими на цвет плит бетонных тротуарных, изготовленных методом полусухого вибропрессования являются: сырьевые компоненты, состав и водоцементное отношение бетонной смеси, режим твердения изделий и технология окрашивания.

2. Анализ причин высолообразования на поверхности плит тротуарных позволил обозначить возможные способы предупреждения их возникновения и ликвидации с эксплуатируемых изделий. Бетон должен иметь минимально возможную пористость за счет применения модификаторов, оптимизации водоцементного отношения, соотношения между цементом и песком, гранулометрии и создания плотной упаковки в бетонной смеси, совершенствования и управления технологией изготовления изделий. Необходимо в процессе твердения и при последующем хранении бетонной продукции соблюдать температурно-влажностный режим, защищать поверхность изделий от попадания влаги, соблюдать технологию монтажа, наносить гидрофобизаторы.

3. Разработана технология современного окрашивания типа «colormix», обеспечивающая плавный переход цветов облицовочного слоя бетона с получением каждой единицы продукции в многоцветном исполнении, что в сочетании с рациональной гранулометрией заполнителя, применением модификатора, оптимальным водоцементным отношением и параметрами вибропрессования, позволило получить вибропрессованные плиты бетонные тротуарные с полифункциональной матрицей улучшенной структуры с высокими эксплуатационными и декоративными свойствами.

6. ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЛИТ БЕТОННЫХ ТРОТУАРНЫХ С ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МАТРИЦЕЙ

6.1. Опытные-промышленные испытания

Полученные результаты были апробированы в промышленных условиях на заводе ООО «Белгородский завод архитектурного бетона» Белгородской области. Выпущенные опытные партии плит тротуарных были применены в качестве элементов благоустройства дворовых территорий по ул. Левобережная, ул. Конева и ул. Корочанская в г. Белгород (рисунок 6.1).

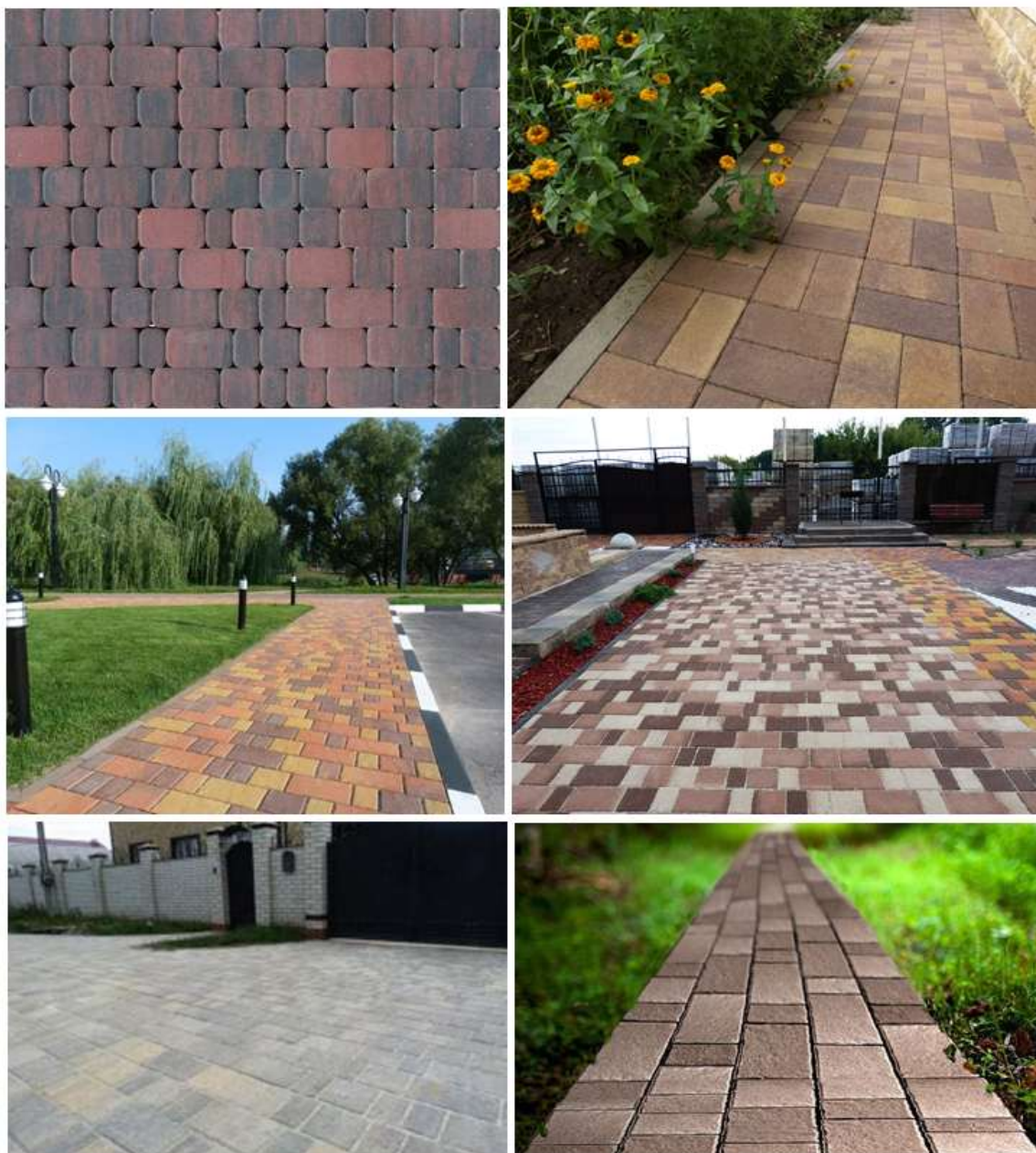


Рисунок 6.1. Внедрение полученных результатов в производство

Акты выпуска опытных партий плит тротуарных на заводе ООО «Белгородский завод архитектурного бетона» Белгородской области представлены в приложениях 3, 4.

Разработаны нормативная и техническая документация для промышленного внедрения результатов научно-исследовательской работы:

- технические условия ТУ 5746-001-62636323-2013 «Плиты бетонные тротуарные» (приложение 1);
- стандарт организации СТО 02066339-016-2014 «Плиты бетонные тротуарные вибропрессованные» (приложение 5);
- технологический регламент на производство плит бетонных тротуарных вибропрессованных на предприятии ООО «Белгородский завод архитектурного бетона» Белгородской области (приложение 6).

Теоретические положения и полученные результаты научно-исследовательской работы используются в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению 270800.68 «Строительство» и инженеров по специальности 270106 «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» (приложение 7).

6.2. Экономическая эффективность плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей

Опыт производства плит бетонных тротуарных методом полусухого вибропрессования является наиболее перспективным и позволяет улучшить качество готовой продукции за счет технологических параметров и технологии окрашивания.

Для технико-экономического обоснования эффективности проведенных мероприятий осуществлен расчет необходимых капитальных вложений, включающих основные затраты на сырьевые материалы, энергетические и информационные ресурсы, амортизацию оборудования.

Капитальные вложения, необходимые для выполнения научно-исследовательской работы, рассчитывали по формуле:

$$K_{\text{нир}} = C_{\text{нир}} + K_{\text{ис}}, \quad (6.1)$$

где $K_{ис}$ – затраты на применение материально-технических, трудовых и финансовых ресурсов, в том числе и капитальных затрат, руб.

Текущие затраты на выполнение научно-исследовательской работы ($C_{нир}$):

$$C_{нир} = C_{мат} + C_{зп} + C_{соц.н.} + C_{экс} + C_{нт} + C_{ком} + C_{пр} + C_{накл}, \quad (6.2)$$

где $C_{мат}$ – затраты на сырьевые материалы и полуфабрикаты, необходимые для выполнения научно-исследовательской работы, руб.

Затраты на сырьевые материалы и полуфабрикаты, необходимые для выполнения научно-исследовательской работы, представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1

Затраты на сырьевые материалы и полуфабрикаты, необходимые для выполнения научно-исследовательской работы

Наименование	Количество, кг	Стоимость единицы, руб./кг	Стоимость, руб.
Портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н	50	3,7878	189,39
Вяземский песок	170	0,7	119
Курский песок	170	0,48373	82,23
Новотаволжанский песок	170	0,350	59,5
Хохольский песок	170	0,800	136
Щебень фракции 2...5 мм	310	1,160	359,6
Щебень фракции 5...10 мм	310	1,080	334,8
Добавка Murasan BWA 19	1,3	33	43,89
Пигмент коричневый	2	110	220
Пигмент черный	1	80	80
ИТОГО			1624,41

Заработную плату ($C_{зп}$) научно-технического персонала, руб., вычисляли по формуле:

$$C_{зп} = \sum_{i=1}^n \chi_i \cdot Z_{ст_i} \cdot T_{нир} \cdot \left(1 + \frac{x}{100}\right), \quad (6.3)$$

где χ_i – количество работников, выполняющих научно-исследовательскую работу, чел; $Z_{ст_i}$ – ставка работника, руб.; $T_{нир}$ – период выполнения научно-исследовательской работы, лет; x – средний процент премии к фонду заработной платы, руб.

Заработная плата научно-технического персонала равна:

$$C_{\text{зн.смуд.}} = 1 \cdot 6000 \cdot 4 \cdot \left(1 + \frac{70}{100}\right) = 40800 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды ($C_{\text{соц.н.}}$), руб., рассчитывали по формуле:

$$C_{\text{соц.н.}} = C_{\text{зп}} \cdot \frac{y}{100}, \quad (6.4)$$

где y – процент отчислений на социальные нужды.

Затраты на эксплуатацию оборудования ($C_{\text{экс}}$) для выполнения научно-исследовательской, руб., равны:

$$C_{\text{экс}} = C_a + C_p + C_{\text{эн}} + C_{\text{эвм}}, \quad (6.5)$$

где C_a – амортизация оборудования, руб., C_p – затраты на текущий ремонт оборудования, руб.; $C_{\text{эн}}$ – затраты на электроэнергию, необходимую для проведения научно-исследовательской работы, руб., определяли по формуле:

$$C_{\text{эн}} = N \cdot T_{\text{эф.м}} \cdot \Pi_{\text{эн}}, \quad (6.6)$$

где N – мощность, потребляемая оборудованием, кВт; $T_{\text{эф.м}}$ – фактический фонд времени работы оборудования, руб.; $\Pi_{\text{эн}}$ – цена за 1 кВт·ч энергии, руб.; $C_{\text{эвм}}$ – затраты на использование вычислительной техники, руб.

$$C_{\text{эвм}} = T_{\text{эф}} \cdot \Pi_{\text{эвм}}, \quad (6.7)$$

где $T_{\text{эф}}$ – фактический фонд времени работы вычислительной техники, маш·ч; $\Pi_{\text{эвм}}$ – цена часа работы вычислительной техники, руб.

Для проведения научно-исследовательской работы применяли пресс гидравлический, морозильную камеру и круг истирания.

Затраты на амортизацию оборудования представлены в таблице 6.2.

$$T_{\text{факт. пресса}} = 400 \text{ (кол-во образцов)} \cdot 0,017 \text{ ч (продолж-ть испытания)} = 6,8 \text{ ч.}$$

$$T_{\text{факт. мороз. камера}} = 40 \text{ (кол-во образцов)} \cdot 24 \text{ ч (продолж-ть испытания)} = 960 \text{ ч.}$$

$$T_{\text{факт. круг истирания}} = 400 \text{ (кол-во образцов)} \cdot 0,017 \text{ ч (продолж-ть испытания)} = 6,8 \text{ ч.}$$

Затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием, приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.2

Затраты на амортизацию оборудования

Наименование оборудования	Балансовая стоимость, тыс. руб.	Норма амортизационных отчислений, %	Фактический фонд рабочего времени, год	Сумма, руб.
Пресс гидравлический	808	4,4	0,0039	138,7
Морозильная камера	610	11	0,109	7313,9
Круг истирания	83	12	0,0039	38,8
ИТОГО	1601			2491,4

Таблица 6.3

Затраты на электроэнергию

Потребитель	Потребляемая мощность, кВт·ч	Фактическая продолжительность работы, ч	Тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч	Сумма затрат, руб.
Пресс гидравлический	1,6	6,8	3	32,64
Компьютер	0,5	800	3	1200
Морозильная камера	15	960	3	43200
Круг истирания	0,2	6,8	3	4,08
ИТОГО				44436,72

Расходы на научно-техническую информацию ($C_{нт}$), руб., при стоимости интернета 10 руб./ч)

$$C_{нт} = 80 \cdot 10 = 800 \text{ руб.}$$

Накладные расходы ($C_{накл}$) равны 10...15 % от прямых затрат, руб.

$$C_{накл} = (1624,41 + 40800 + 2491,4 + 44436,72 + 800) \cdot 0,15 = 13522,9 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты на выполнение научно-исследовательской работы представлены в таблице 6.4.

Таблица 6.4

Затраты на проведение научно-исследовательской работы

Наименование статьи затрат	Сумма, руб.
1. Материалы основные, покупные и комплектующие изделия	1624,41
2. Основная и дополнительная зарплата	40800
3. Отчисления на социальные нужды	0
4. Затраты на эксплуатацию оборудования	46928,12
5. Затраты на научно-техническую информацию	800
6. Расходы на командировки	0
ИТОГО прямых расходов	90152,5
7. Прочие прямые расходы	0
ВСЕГО прямые расходы	90152,5
8. Накладные расходы	13522,9
ИТОГО	103675,4

Таким образом, капитальные затраты $K_{нир} = 103675,4$ руб.

Расчеты себестоимости разработанных составов вибропрессованных плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей и традиционных плит представлены в таблице 6.5.

Таблица 6.5

Себестоимость 1 м³ мелкозернистого бетона для плит тротуарных

Наименование затрат	Плановые показатели			
	на ед. продукции		на ед. продукции	
	кг/м ³	руб./м ³	кг/м ³	руб./м ³
	основной слой			
	разработанный		контрольный	
Условно-переменные затраты, в т.ч.				
Портландцемент	320	1212,09	440	1666,6
Курский песок	184	89,0	834	403,43
Вяземский песок	736	515,2	200	140
Щебень фракции 2...5 мм	311	360,76	100	116
Щебень фракции 5...10 мм	727	785,16	650	702
Добавка Mugasap BWA 19	1,3	42,9	–	–
Пигмент черный	–	–	–	–
Пигмент коричневый	–	–	–	–
Вода	122	3,05	185	4,63
Итого:		3008,16		3032,66
	облицовочный слой			
Портландцемент	460	1742,388	500	1893,9
Курский песок	340	164,468	330	159,63
Вяземский песок	1360	952	1320	924
Щебень фракции 2...5 мм	–	–	–	–
Щебень фракции 5...10 мм	–	–	–	–
Добавка Mugasap BWA 19	1,84	60,72	–	–
Пигмент черный	6,1	488	10	800
Пигмент коричневый	7,7	847	25	2750
Вода	175	4,38	200	5
Итого:		4258,95		6532,53

$$\begin{aligned}
 C_{\text{контр}} &= 3032,66 \cdot 0,9 + 6532,53 \cdot 0,1 = 3382,65 \text{ руб./м}^3 \text{ (202,96 руб./м}^2\text{);} \\
 C_{\text{разработ}} &= 3008,16 \cdot 0,9 + 4258,95 \cdot 0,1 = 3133,24 \text{ руб./м}^3 \text{ (187,99 руб./м}^2\text{);} \\
 \mathcal{E}_{\text{мат.затрат}} &= (C_{\text{завод}} - C_{\text{рекоменд}}) \cdot B - K_{\text{НИР}} \quad (6.8) \\
 \mathcal{E}_{\text{присравнении с контрольным}} &= (3382,65 - 3133,24) \cdot 50000 - 103675,4 = 12366,735 \text{ тыс. руб.}
 \end{aligned}$$

6.3. Выводы

1. Выпущены опытные партии плит бетонных тротуарных на заводе ООО «Белгородский завод архитектурного бетона» Белгородской области, которые были применены в качестве элементов благоустройства дворовых территорий по ул. Левобережная, ул. Конева и ул. Корочанская в г. Белгород.

2. Обеспечено промышленное внедрение разработанных составов и технологии вибропрессованных плит бетонных тротуарных с

полифункциональной матрицей следующими нормативными и техническими документами: техническими условиями ТУ 5746-001-62636323-2013 «Плиты бетонные тротуарные»; стандартом организации СТО 02066339-016-2014 «Плиты бетонные тротуарные вибропрессованные» и технологическим регламентом на производство плит бетонных тротуарных вибропрессованных на предприятии ООО «Белгородский завод архитектурного бетона» Белгородской области.

3. Экономический эффект от создания и применения плит бетонных тротуарных будет заключаться в снижении расхода вяжущего за счет применения модификатора, оптимизации водоцементного отношения, гранулометрии заполнителей и пигментов за счет применения разработанной технологии окрашивания и составляет при производительности 50 000 м³/год 12366,735 тыс. руб.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Необходимо создание комплексного подхода к вопросу получения вибропрессованных плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей за счет усовершенствования всех этапов проектирования и производства.

2. В исследованиях применялись современные методы, обеспечивающие достоверность полученных результатов. Для изучения состава и структуры сырьевых компонентов и плит бетонных тротуарных использовались как высокоточные инструментальные методы исследований – РФА, растрово-электронная микроскопия, так и стандартные методики определения свойств сырья, смесей и бетонов.

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

4. Разработаны мероприятия, обеспечивающие качество и сохранение стабильности свойств бетонных смесей, что способствует повышению эксплуатационных характеристик плит бетонных тротуарных.

5. Установлены факторы и оптимальные параметры, способствующие равномерному заполнению всех ячеек формы жесткой бетонной смесью при изготовлении методом полусухого вибропрессования плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей, что существенно повышает их эксплуатационные свойства и архитектурную выразительность.

6. Установлены оптимальные параметры вибропрессования для производства плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей.

Получены адекватные уравнения регрессии зависимости средней плотности свежееотформованных изделий и прочности на сжатие плит бетонных тротуарных от технологических режимов и параметров вибропрессования, что позволяет оперативно управлять технологическим процессом.

7. Установлено, что в процессе твердения вибропрессованных бетонов с модификатором Murasan BWA 19 обеспечивается снижение открытой пористости и формирование плотного композита при рациональной гранулометрии зернистых компонентов, что в совокупности с разработанными режимами полусухого вибропрессования обуславливает повышение однородности структуры полифункциональной матрицы композита, прочности на сжатие в 1,5 раза, морозостойкости в 2 раза, снижение водопоглощения в 2,3, истираемости в 3 раза и, в целом, повышение долговечности плит бетонных тротуарных.

8. По результатам анализа микроструктуры изделий выявлено, что разработанные составы плит бетонных тротуарных имеют более плотное сцепление частиц заполнителя с новообразованиями цементного камня по сравнению с традиционными образцами плит тротуарных, что обусловлено оптимизацией состава жестких бетонных смесей и параметров вибропрессования (частоты и продолжительности вибрации, возмущающей силы вибраторов при предварительной и основной вибрациях, величины и времени приложения давления пуансона).

9. По оптимальным технологическим режимам на разработанных составах получены вибропрессованные плиты бетонные тротуарные с полифункциональной матрицей с высокими эксплуатационными характеристиками: класс по прочности на сжатие B45, водопоглощение W 2,4 %, марка по морозостойкости F400, истираемость 0,21 г/см².

10. 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, формированию плотной однородной структуры полифункциональной матрицы композита, повышению прочности на сжатие в 1,5 раза, морозостойкости в 2 раза, снижению водопоглощения в 2,3, истираемости в 3 раза и, в целом, повышению долговечности плит бетонных тротуарных.

11. Анализ причин высолообразования на поверхности вибропрессованных плит бетонных тротуарных позволил обозначить возможные способы предупреждения их возникновения и ликвидации с эксплуатируемых изделий. Бетон должен иметь минимально возможную пористость за счет применения модификаторов, оптимизации водоцементного отношения, соотношения между цементом и песком, гранулометрии и создания плотной упаковки в бетонной смеси, совершенствования и управления технологией изготовления изделий. Необходимо в процессе твердения и при последующем хранении бетонных изделий соблюдать температурно-влажностный режим, защищать поверхность изделий от попадания влаги, соблюдать технологию монтажа, наносить гидрофобизаторы.

12. Разработана технология современного окрашивания типа «colormix», обеспечивающая плавный переход цветов облицовочного слоя бетона с получением каждой единицы продукции в многоцветном исполнении, что в сочетании с рациональной гранулометрией заполнителя, применением модификатора, оптимальным водоцементным отношением и параметрами вибропрессования, позволило получить вибропрессованные плиты бетонные тротуарные с полифункциональной матрицей улучшенной структуры с высокими эксплуатационными и декоративными свойствами.

13. Выпущены опытные партии плит бетонных тротуарных на заводе ООО «Белгородский завод архитектурного бетона» Белгородской области, которые были применены в качестве элементов благоустройства дворовых территорий по ул. Левобережная, ул. Конева и ул. Корочанская в г. Белгород.

14. Обеспечено промышленное внедрение разработанных составов и технологии вибропрессованных плит бетонных тротуарных с полифункциональной матрицей следующими нормативными и техническими документами: техническими условиями ТУ 5746-001-62636323-2013 «Плиты бетонные тротуарные»; стандартом организации СТО 02066339-016-2014 «Плиты бетонные тротуарные вибропрессованные» и технологическим регламентом на производство плит бетонных тротуарных вибропрессованных на предприятии ООО «Белгородский завод архитектурного бетона» Белгородской области.

15. Экономический эффект от создания и применения вибропрессованных плит бетонных тротуарных будет заключаться в снижении расхода вяжущего за счет применения модификатора, оптимизации водоцементного отношения, гранулометрии заполнителей и пигментов за счет применения разработанной технологии окрашивания и составляет при производительности 50 000 м³/год 12366,735 тыс. руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шестоперов, С.В.** Долговечность бетона транспортных сооружений [Текст] / С.В. Шестоперов. – М.: Транспорт, 1966. – 500 с.
2. **Сорокер, В.И.** Жесткие бетонные смеси в производстве сборного железобетона [Текст] / В.И. Сорокер В.Г. Довжик // 2-е изд. исправл. и перераб. – М.: Стройиздат, 1964. – 308 с.
3. **Житкевич, И.А.** Бетон и бетонные работы [Текст] / И.А. Житкевич. – СПб., 1912. – 122 с.
4. Производство тротуарной плитки по технологии вибропрессования [Эл. ресурс] / Строительный порта ProektStroy. Каталог строительных и отделочных услуг, материалов. Режим доступа: <http://www.stroyres.com.ua/17.12.2002>.
5. **Гусев, Б.В.** Вибрационная технология бетона [Текст] / Б.В. Гусев. – К.: Будівельник, 1991. – 160 с.
6. **Глотов, Ю.Д.** Вибропрессование. Практические рекомендации [Текст] / Ю.Д. Глотов, А.А. Тормозов, Е.С. Шутов и др. // Производственное издание. FillFine. – 252 с.
7. **Баженов, Ю.М.** Технология бетона [Текст] / Ю.М. Баженов. – М.: Изд-во ABC, 2007. – 528 с.
8. **Баженов, Ю.М.** Новые эффективные бетоны и технологии [Текст] / Ю.М. Баженов // Промышленное и гражданское строительство. – 2001. – №9. – С. 15-16.
9. **Schellhorn M., Latef O., Schmnit E.** First experiments with clay additives for concrete products. Berichte der Deutschen Ton- und Tonmineralgruppe e. V. DTTG 2006. Band 12. S. 44-49.
10. **Schlecht B., Neubauer A.** Hydraulic Compaction System (HCS). Steigerung der Produktqualität durch elfiziente Verdichtung. Betonwerk + Fertigteiltechnik. Heft 9.2000. – pp. 44-51.

11. **DIN 1045-2 Norm, 2001-07.** Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität: Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1. Beuth Verlag, Berlin.

12. **DIN EN 206-1 Norm. 2001-07.** Beton. Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität- Deutsche Fassung EN 206-1:2000. Beuth Verlag, Berlin.

13. **VDZ-Tätigkeitsberichte 2003-2005.** Verein Deutscher Zementwerke e.V., Verlag Bau + Technik GmbH, Düsseldorf. S. 118.

14. **DIN 18127, Norm 1997-1 1 .** Baugrund - Untersuchung von Bodeneränen – Prüfversuch. Beuth Verlag, Berlin.

15. **DAiStb-Richtlinie Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie),** Haig Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb), Ausgabe November, 2003.

16. **VDZ-Tätigkeitsberichte 2003-2005.** Verein Deutscher Zementwerke e.V. Verlag Bau + Technik GmbH, Düsseldorf. p. 118.

17. **Becker G., Kuch, H., Schwabe J.H., Mothes S.** Betonsteinfertiger mit harmonischer Vibration. Vortrag 10. Fachtagung des IFF Weimar e.V., 2003.

18. **Borgholt M.** Leistungssiegelung und Lärminnierung mit harmonischer Vibration Produktion. Betonwerk + Fertigertechnik. Heft 10. 2007. pp. 22-27.

19. Abschlussbericht. Betonsteinfertiger mit hocheffektiver harmonischer Vibration. Reg. Nr. 1081/01. Im Auftrag des Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Projektträger. Fraunhofer Services GmbH, IFF Weimar e. V. 11.03.2004.

20. **Mollmann M., Droll, K.** Oberflächenschutzsysteme für Betonsteine Betonwerk + Fertigteertechnik. – 2005. – Nr. 2. – S. 38-41.

21. **Hubsch C.** Wunderwaffe Betonzusatzmittel? Fortschritte der Zusatzmitteltechnologie für Betonwaren und Betonfertigteile. Betonwerk + Fertigerteil-Technik. – 2007. – Nr. 2. – S. 70-73.

22. **Schwabe J. H., Kuch H., Motto, S.** Harmonische Vibration bei Betonsteinmaschinen BetonWerk international Heft 5, 2004. – pp. 114-117.

23. **Львович, К.И.** Песчаный бетон и его применение в строительстве [Текст] / К.И. Львович. – СПб.: Строй-Бетон, 2007. – 320 с.

24. **ГОСТ 17608-91.** Плиты бетонные тротуарные. Технические условия [Текст]. – Введ. 01.01.1992; взамен ГОСТ 17608-81. – М.: Госстрой, 1992. – 21 с.

25. **Батраков, В.Г.** Модифицированные бетоны. Теория и практика [Текст] / В.Г. Батраков // 2-е изд-ие, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1998. – 768 с.

26. **Рамачандран, В.С.** Добавки в бетон [Текст] / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллеппарди. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.

27. **Усачев, С.М.** Совершенствование технологии вибропрессованных бетонов путем оптимизации баланса внутренних и внешних сил [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / С.М. Усачев. Воронеж, 2006. – 210 с.

28. **Денисова Ю.В.** Вибропрессованные бетоны с суперпластификатором на основе резорцин-формальдегидных олигомеров [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05: / Ю.В. Денисова. – Белгород, 2006. – 178 с.

29. **Кафтаева, М.В.** Влияние модифицирующих добавок системы "Релаксол" на свойства прессованных цементных бетонов [Текст] / М.В. Кафтаева // Известия вузов. Строительство. – 2007. – № 9. – С. 31-34.

30. **Косухин, М.М.** Вибропрессованные бетоны с различными типами пластифицирующих добавок [Текст] / М.М. Косухин, Н.А. Шаповалов, Ю.В. Денисова // Известия вузов. Строительство. – 2007. – № 6. – С. 26-29.

31. **Simonides H., Terpstra J.** Einsatz innovativer Starkeether fur Pflastersteine und andere Betonerzeugnisse. Betonwerk + Fertigteil-Technik. – 2007. – Nr. 9. – S. 38-45.

32. **Баженов, Ю.М.** Мелкозернистый бетон, модифицированный комплексной микродисперсной добавкой [Текст] / Ю.М. Баженов, Н.П. Лукутцова, Е.Г. Карпиков // Вестник МГСУ. – 2013. – № 2. – С. 94-100.

33. **Лукутцова, Н.П.** Исследование мелкозернистого бетона, модифицированного наноструктурной добавкой [Текст] / Н.П. Лукутцова, Е.Г. Матвеева, Д.Е. Фокин // Вестник Белгородского

государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2010. – № 4. – С. 6-11.

34. **Пустовгар, А.П.** Изучение свойств мелкозернистого бетона модифицированного нанодисперсной добавкой серпентинита [Текст] / А.П. Пустовгар, Н.П. Лукутцова, А.Г. Устинов // Вестник МГСУ. – 2013. – № 3. – С. 155-162.

35. **Ананенко, А.А.** Мелкозернистые бетоны с комплексными модификаторами [Текст] / А.А. Ананенко, В.В. Нижегородов, А.С. Успенский // Известия вузов. Строительство. – 2005. – №5. – С. 42-45.

36. **Лукутцова, Н.П.** Роль микро и нанодисперсных добавок в структурообразовании мелкозернистого бетона [Текст] / Н.П. Лукутцова, Е.Г. Матвеева // Технологии бетонов. – 2013. – № 10 (87). – С. 40-41.

37. **Карпиков, Е.Г.** Комплексные добавки для бетонов, как фактор решения проблем урбанизированных территорий [Текст] / Е.Г. Карпиков, Р.О. Петров, Д.А. Кириенко // Биосферносовместимые города и поселения: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 11-13 декабря 2012 г. – Брянск, 2012. С. 226-231.

38. **Ферронская, А.В.** Высококачественный мелкозернистый бетон для дорожных покрытий [Текст] / А.В. Ферронская, С.Б. Кожиев // Строительные материалы. – 2005. – № 4. – С. 58-59.

39. **Чуйкин, А.Е.** Опыт производства и использования мелкоштучных дорожных вибропрессованных бетонных изделий [Текст] / А.Е. Чуйкин, О.М. Сафина и др. // Строительные материалы. – 2003. – №10. – С. 28-29.

40. **Соколов, В.Г.** Долговечность прессованных бетонов [Текст] / В.Г. Соколов, П.И. Буйный, Г.Ю. Рустамханов // Строительные материалы. – 1994. – № 10. – С. 22.

41. **Соколов, В.Г.** Прочностные характеристики прессованных бетонов оптимальной структуры [Текст] / В.Г. Соколов, А.С. Соколов, Ю.Н. Денисов и др. // Строительные материалы. – 1995. – №8. – С. 25-26.

42. **Grubl P., Weigler. H., Sieghart K.** Beton – Arten, Herstellung und Eigenschaften. Ernst Sohn, Berlin, 2001.

43. **Neck U., Ehrlich. N.** Qualität und Optimierung der Rezeptur von Betonwaren - Ein Widerspruch? Betonwerk + Fertigteil-Technik, Nr. 02, S. 66-69. 2007.

44. **Burnemann R., Schmidt M.** Grundlagen und Strategien zur Verbesserung erdfeuchter Betone. Teil 1. Betonwerk + Fertigteile-Technik. Heft 8. 2005. pp. 44-51.

45. **Schmidt M.** Erdfeuchte Betone - Anforderungen, Verarbeitbarkeit, Grundzustandfestigkeit und Prüfverfahren. Betonwerk + Fertigteil-Technik, Heft 11, 1999. pp. 14-24.

46. **Mechtchierme V, Gene M.** Erdfeuchte Betone – Baustoffliche Grundlagen und neue Entwicklungen. BetonWerk International. Heft 1, 2009. pp. 106-111.

47. **Минь Дык Чан.** Мелкозернистый бетон из экструдированных смесей с повышенными эксплуатационными свойствами [Текст] / Минь Дык Чан: дис. ...канд. техн. наук. – М., 2009. – 174 с.

48. **Гегерь, В.Я.** Повышение эффективности мелкозернистого бетона комплексной микродисперсной добавкой [Текст] / В.Я. Гегерь, Н.П. Лукутцова, Е.Г. Карпиков, Р.О. Петров // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. – № 3. – С. 15-18.

49. Принцип долговечности строительных материалов [Эл. ресурс]. Режим доступа: <http://www.materialsworld.ru>.

50. **Чеховский, Ю.В.** Структура и свойства цементных бетонов [Текст] / Ю.В. Чеховский, М.И. Бруссер. – М.: Стройиздат, 1979. – 344 с.

51. **Гладков, Д.И.** Физико-химические основы прочности бетона [Текст] / Д.И. Гладков. – М.: Изд-во АСВ, 1998. – 136 с.

52. **Гладков, Д.И.** Методика определения прочности бетона с учетом различных режимов приложения нагрузки и влияния на материал

окружающей среды [Текст] / Д.И. Гладков // Проблемы строительного материаловедения и новые технологии. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 1995. – Ч. 1. – С. 85-92.

53. **Ахвердов, И.Н.** Основы физики бетона [Текст] / И.Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.

54. **Скрамтаев, Б.Г.** Строительные материалы [Текст] / Б.Г. Скрамтаев. – М.: ГИЛСМ, 1954. – 320 с.

55. **Гвоздев, А.А.** Прочность, структурные изменения и деформации бетона [Текст] / А.А. Гвоздев. – М.: Стройиздат, 1978. – 298 с.

56. **Шейкин, А.Е.** Структура и свойства цементных бетонов [Текст] / А.Е. Шейкин. – М.: Стройиздат, 1979. – 344 с.

57. **Шмитько, Е.И.** Управление плотностью прессованных материалов путем рационального использования потенциала поверхностных и капиллярных сил [Текст] / Е.И. Шмитько, С.В. Черкасов // Строительные материалы. – 1993. – №8. – С. 26-29.

58. **Краснов, А.М.** Влияние высокого наполнения мелкозернистого бетона на структурную прочность [Текст] / А.М. Краснов, С.В. Федосов, М.В. Акулова // Строительные материалы. – 2009. – № 1. – С. 48-50.

59. **Вешнякова, Л.А.** Оптимизация гранулометрического состава смесей для получения мелкозернистых бетонов [Текст] / Л.А. Вешнякова, А.М. Айзенштадт // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – №10. – С. 19-22.

60. **Лесовик, Р.В.** Мелкозернистые бетоны на композиционных вяжущих и техногенных песках [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05 / Р.В. Лесовик; БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2009. – 402 с.

61. **Ряпухин, Н.В.** Мелкозернистый бетон на заполнителях КМА для производства мостовых конструкций [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Н.В. Ряпухин. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2007. – 215 с.

62. **Гаркави, М.С.** Использование песков из отсеков дробления при изготовлении мелкоштучных элементов мощения [Текст] / М.С. Гаркави,

А.С. Волохов, С.А. Некрасова, Д.Д. Хамидулина // Строительные материалы. – 2003. – №6. – С. 38.

63. **Муртазаев, С.А.Ю.** Использование в мелкозернистых бетонах отходов переработки горных пород [Текст] / С.А.Ю. Муртазаев, М.Ш. Саламанова, М.С. Сайдумов, М.И. Гишлакаева // В сборнике: Наука и образование в Чеченской республике: состояние и перспективы развития: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 10-летию со дня основания КНИИ РАН. Ответственный редактор Батаев Дена Карим-Султанович. – 2011. – С. 181-184.

64. **Ахременко, С.А.** Использование песка обогащения фосфоритного производства в мелкозернистом бетоне [Текст] / С.А. Ахременко, Н.П. Лукутцова, Е.Л. Королева, А.Н. Шамшуров // Строительные материалы. – 2008. – № 3. – С. 52-55.

65. **Баженов, Ю.М.** Мелкозернистые бетоны из техногенного сырья для ремонта и восстановления поврежденных зданий и сооружений [Текст] / Ю.М. Баженов, Д.К.С. Батаев, С.А.Ю. Муртазаев, Х.Н. Мажиев. – Грозный, 2011. – 159 с.

66. **Сорокер, В.И.** Приготовление мелкозернистых бетонов способом перемешивания [Текст] / В.И. Сорокер, Д.Ф. Толорая, И.Н. Ушакова // Бетон и железобетон. – 1960. – № 2. – С. 7-9.

67. **Вознесенский, В.А.** Планирование эксперимента по технологии мелкозернистого бетона [Текст] / В.А. Вознесенский // Заводская лаборатория. – 1964. – № 3. – С. 14-18.

68. **Мохов, Б.А.** Исследование влияния методов обработки смесей на структуру и свойства высокопрочного цементно-песчаного бетона [Текст] / Б.А. Мохов. – Л.: ЛИИЖТ, 1968. – 318 с.

69. **ТУ 65-158-76.** Мелкозернистый бетон на классифицированных песках. – Уфа: Минпромстрой СССР, НИИПромстрой, 1956.

70. **Шведов, В.Н.** Исследование влияния некоторых технологических факторов на трещиностойкость мелкозернистого бетона с помощью

математико-статистических методов [Текст] / В.Н. Шведов: автореф. ...канд. техн. наук. – М.: МИИТ, 1975. – 24 с.

71. **Ушакова, И.Н.** Исследование влияния мелких песков, микрозаполнителя и добавки ПАВ-ССБ на процесс структурообразования и физико-механические свойства песчаного бетона [Текст] / И.Н. Ушакова, С.М. Ратеб, Н.В. Михайлов // Технология переработки, физико-химические и структурно-механические свойства дисперсных систем. – Минск, 1969. – Вып. 5. – С. 141-145.

72. **Шадрин А.А.** Исследование зернового состава песков для мелкозернистого бетона [Текст] / А.А. Шадрин // Мелкозернистые бетоны: материалы координационного совещания. – М.: НИИЖБ, 1972. – С. 172-181.

73. **Шадрин, А.А.** Закономерности структурообразования песчаной смеси в мелкозернистом бетоне [Текст] / А.А. Шадрин // Транспортное строительство. – 1963. – № 2. – С. 18-20.

74. **Галактионов, В.И.** Методика подбора количественного соотношения фракций заполнителей для бетона [Текст] / В.И. Галактионов, В.И. Сорокер // НИИНеруд. – 1963. – № 11. – С.23-25.

75. **Осипов, А.Д.** Влияние гранулометрического состава песка на свойства мелкозернистого бетона [Текст] / А.Д. Осипов // Гидротехническое строительство. – 1975. – № 2. – С. 11-19.

76. **Краснов, А.М.** Высокопрочный мелкозернистый бетон для сборных плит автомобильных дорог [Текст] / А.М. Краснов, С.В. Федосов, М.В. Акулова // Транспортное строительство. – 2009. – № 1. – С. 28-29.

77. **Гусев, Б.В.** Свойства мелкозернистых бетонов при различных способах уплотнения [Текст] / Б.В. Гусев, И.Н. Минсадров, В.Д. Кудрявцева // Промышленное и гражданское строительство. – 2009. – № 5. – С. 48-50.

78. **Муртазаев, С.А.Ю.** Эффективные мелкозернистые бетоны на основе техногенного сырья из золошлаковых смесей [Текст] / С.А.Ю. Муртазаев., З.Х. Исмаилова, С.А. Алиев, Б.Т. Муртазаев // Экология и промышленность России. – 2011. – № 7. – С. 23-25.

79. **Муртазаев, С.А.Ю.** Мелкозернистые бетоны на основе наполнителей из вторичного сырья [Текст] // С.А.Ю. Муртазаев, Д.К.С. Батаев, З.Х. Исмаилова // Академия наук Чеченской Республики, Грозненский государственный нефтяной институт имени ак. М.Д. Миллионщикова, Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова РАН. Москва, 2009. – С. 155-161.

80. **Керимов, М.И.** Производство мелкозернистых бетонов с применением шлака и золы [Текст] / М.И. Керимов, Д.К.С. Батаев, С.А.Ю. Муртазаев // В сборнике: Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Ответственные редакторы: Батаев Д.К-С.; Гапуров Ш.А.. 2007. С. 106-107.

81. **Прудков, Е.Н.** Оптимизация составов наномодифицированных мелкозернистых бетонов с повышенными эксплуатационными свойствами [Текст] / Е.Н. Прудков, М.С. Закуражнов, А.Н. Гордеева // Транспортное строительство. – 2014. – № 2. – С. 22-25.

82. **Курбатов, В.Л.** Элементы мощения с использованием отсеков дробления флювиогляциальных горных пород [Текст] / В.Л. Курбатов, Ю.В. Литвинова, Р.В. Лесовик, А.П. Гринев // Известия вузов. Строительство. – 2007. – №9. – С. 58-61.

83. **Лукутцова, Н.П.** Исследование мелкозернистого бетона, модифицированного наноструктурной добавкой [Текст] / Н.П. Лукутцова, Е.Г. Матвеева, Д.Е. Фокин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2010. – №4. – С. 6-11.

84. **Салл, М.** Мелкозернистые бетоны с органоминеральной добавкой для дорожного строительства [Текст] / М. Салл, Е.С. Рыбинцева, Г.А. Ткаченко // Строительные материалы. – 2009. – №7. – С. 18-20.

85. **Кафтаева, М.В.** Применение минеральных добавок в мелкозернистых прессованных бетонах [Текст] / М.В. Кафтаева, Р.В. Лесовик, А.В. Черноусов // Строительные материалы. – 2007. – № 8. – С. 44-45.

86. **Гусев, Б.В.** Способы повышения технических характеристик мелкозернистых бетонов дорожных изделий [Текст] / Б.В. Гусев, В.Д. Кудрявцева, И.Н. Минсадров // Транспортное строительство. – 2009. – № 5. – С. 14-15.

87. **Кафтаева, М.В.** Влияние фазового состава портландцементных клинкеров на вяжущие свойства цементов в мелкозернистых прессованных бетонах [Текст] / М.В. Кафтаева, Ш.М. Рахимбаев // Строительные материалы. – 2007. – № 7. – С. 22-23.

88. **Poole, A.B.** Significance of Tesis and Properlies of Concrete and Concrete Making Materials. ASTM Special Publication. – 1978.

89. **Metha, P.K.** Cement Standarts Evolution Trends. ASTM Special Publication. – 1978.

90. **Metha, P.K.** Living with Marginal Aggregates. ASTM Special Publication. – 1976.

91. **Figg, J.W.** Alkali – Aggregate (Alkali – Silica – Alkali – Silicate) Reactivity. Bibliographe. Cembureau. England. 1975.

92. **Fagerlund, G.** Mater Construct. – 1977. – #10. – 231 pp.

93. **Gilott, J.E.** Practical Implication of the Mechenisms of Alkali – Agregate Reactions', Simposium on the Alkali – Aggregate reaction. Reykjavik. 1975. – August. – pp. 213-230.

94. **Рамачандран, В.** Наука о бетоне. Физико-химическое бетоноведение [Текст] / В.Рамачандран, Р. Фельдман, Дж. Бодуэн: пер. с англ. Т.И. Розенберг, Ю.Б. Ратиновой. – М.: Стройиздат, 1986. – 278 с.

95. **Магдеев, А.У.** Вибропрессованные элементы мощения с повышенными эксплуатационными свойствами из мелкозернистого бетона [Текст] / АльфридтУсманович Магдеев: 05.23.05: дис. ... канд. техн. наук. – М.: МГСУ, 2003. – 165 с.

96. **Невиль, А.М.** Свойства бетона [Текст] / А.М. Невиль. – М.: Стройиздат, 1972. – 344 с.

97. **Батяновский, Э.И.** Влияние технологических факторов на проницаемость вибропрессованного бетона. Ч.1. [Текст] / Э.И. Батяновский, А.И. Бондарович, П.В. Рябчиков // Технологии бетонов. – 2009. – № 7/8. – С. 86-89.

98. **Батяновский, Э.И.** Влияние технологических факторов на проницаемость вибропрессованного бетона. Ч.2. [Текст] / Э.И. Батяновский, А.И. Бондарович, П. В. Рябчиков // Технологии бетонов. – 2009. – № 9/10. – С. 34-35.

99. **Сафина, О.М.** Дорожные вибропрессованные изделия с повышенными эксплуатационными характеристиками [Текст]: автореф. ... канд. техн. наук: 05.23.05: / О.М. Сафина. – Уфа, 2002. – 21 с.

100. **Ратинов, Б.В.** Добавки в бетон [Текст] / Б.В. Ратинов: 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1989. – 188 с.

101. **Кожухова, М.И.** Комплексное силиконовое покрытие для супергидрофобизации бетонных поверхностей [Текст] / М.И. Кожухова, И. Флорес-Вивиан, С. Рао, В.В. Строкова, К.Г. Соболев // Строительные материалы. – 2014. – № 3. – С. 26–30.

102. **Вебер, П.** Цветной бетон – влияние, оказываемое на цвет процессами производства, ухода и состаривания [Текст] / П.Вебер // СРІ - Международное бетонное производство. – 2007. – №6. – С. 32-37.

103. **Пустовалов, Д.В.** Пути повышения выносливости декоративных бетонов [Текст] / Д.В. Пустовалов // Строительные материалы. – 1995. – №10. – С.14.

104. **Ситников, И.В.** Декоративный высокопрочный мелкозернистый бетон [Текст] / И.В. Ситников // Технологии бетонов. – 2005. – № 5. – С. 14-16.

105. **Пат. RU 2358862.** Поддон для вибропрессования тротуарной плитки с рельефным изображением [Текст] / Кравченко В.А., Захаров Э.В. Оpubл. 20.06.2009.

106. **Пат. RU 2006123742.** Способ декорирования поверхности бетонных изделий [Текст] / Ю.А. Щепочкина. Оpubл. 10.01.2008.

107. **Пат. RU 2175913.** Способ изготовления имитирующего природный камень искусственного строительного камня и устройство для его осуществления [Текст]. Оpubл. 20.11.2001.

108. **Пат. RU 2084416.** Способ изготовления декоративных строительных изделий и/или декоративных покрытий [Текст] / Б.Э. Юдович, Ю.В. Сорокин, В.Р. Фаликман, С.А. Зубехин, Н.Ф. Башлыков, Р.Л. Серых, Кадаваль-и-Фернандес-де-Лесета Альфонсо-Карлос, Луис-Мануэль-Рон-Рувидадь. Оpubл. 20.07.1997.

109. **ГОСТ 31108-2003.** Цементы общестроительные. Технические условия [Текст]. – Введ. 01.09.2004. – М.: Госстрой России, 2004. – 15 с.

110. **ГОСТ 310.3–76.** Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема [Текст]. – Введ. 01.01.1978. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 8 с.

111. **ГОСТ 310.4–81.** Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии [Текст]. – Взамен ГОСТ 310.4-76; введ. 01.07.1983. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 11 с.

112. **ГОСТ 8735-88.** Песок для строительных работ. Методы испытаний [Текст]. – Введ. 01.07.1989. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 28 с.

113. **ГОСТ 8736-93.** Пески для строительных работ. Технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 8736-85, ГОСТ 26193-84; введ. 01.07.1995. – М.: Госстрой России, 1995. – 9 с.

114. **ГОСТ 8269-97.** Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний [Текст]. – Взамен ГОСТ 3344-83, ГОСТ 7392-85; введ. 01.07.1998. – М.: Госстрой России, 1998. – 39 с.

115. **ГОСТ 8267-93.** Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 8267-82, ГОСТ 8268-82, ГОСТ 10260-82, ГОСТ 23254-78, ГОСТ 26873-86; введ. 01.01.1995. – М.: Госстрой России, 1995. – 18 с.

116. **ГОСТ 10181-2000.** Смеси бетонные. Методы испытаний [Текст]. – Взамен ГОСТ 10181.0-81...ГОСТ 10181.4-81; введ. 01.07.2001. – М.: Госстрой России, 2001. – 21 с.
117. **ТУ 5746-001-62636323-2013.** Плиты бетонные тротуарные. Технические условия [Текст]. – Белгород, 2013. – 30 с.
118. **ГОСТ 18105-2010.** Бетоны. Правила контроля прочности [Текст]. – Взамен ГОСТ 18105-86, введ. 01.09.2012. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 23 с.
119. **ГОСТ 12730.1-78.** Бетоны. Метод определения плотности [Текст]. – Введ. 01.01.1980. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 9 с.
120. **ГОСТ 12730.3-78.** Бетоны. Метод определения водопоглощения [Текст]. – Введ. 01.01.1980. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 7 с.
121. **ГОСТ 10060.0-95.** Бетоны. Методы определения морозостойкости. Общие требования [Текст]. – Взамен ГОСТ 10060-87; введ. 01.09.1996. – М.: Госстрой России, 1996. – 12 с.
122. **ГОСТ 10060.1-95.** Бетоны. Базовый метод определения морозостойкости [Текст]. – Взамен ГОСТ 10060-87; введ. 01.09.1996. – М.: Госстрой России, 1996. – 7 с.
123. **ГОСТ 12730.4-78.** Бетоны. Методы определения показателей пористости [Текст]. – Введ. 01.01.1980. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 7 с.
124. **ГОСТ 13087-81.** Бетоны. Методы определения истираемости [Текст]. – Взамен ГОСТ 13087-67; введ. 01.01.1982. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 31 с.
125. **ГОСТ 310.1-76.** Цементы. Методы испытаний. Общие положения [Текст]. – Введ. 01.01.1978. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 2 с.
126. **ГОСТ 310.2-76.** Цементы. Методы определения тонкости помола [Текст]. – Введ. 01.01.1978. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 3 с.
127. **ГОСТ 23732-2011.** Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 23732-79; введ. 01.10.2012. – М.: Госстрой России, 2013. – 8 с.

128. **Берг, О.Я.** Высокопрочный бетон [Текст] / О.Я. Берг. – М.: Стройиздат, 1971. – 208 с.
129. **Медведев, Н.Н.** Трехмерная упаковка как модель для плотных зернистых систем [Текст] / Н.Н. Медведев // ДАН РФ. – 1994. – Т. 337. – С. 767-769.
130. **Anishchik, S.V.** Thee-dimensional Appolonian packing as a model for dene granular systems / S.V. Anishchik, N.N. Medvedev // Phys. Rev. Lett. – 1995. – V. 75. – № 23. – P. 4314-4317.
131. Наполнители для полимерных композиционных материалов (Справочное пособие) – М.: Химия, 1981. – С.27-34
132. **Гладышев, Б.М.** Механическое взаимодействие элементов структуры и прочность бетонов [Текст] / Б.М. Гладышев. – Харьков: Вища школа, 1987. – 168 с.
133. **Хархардин, А.Н.** Структурно-топологические основы разработки эффективных композиционных материалов и изделий [Текст] / А.Н. Хархардин: дис.... д-ра техн. наук: 05.23.05. – Белгород, 1999.
134. **Хархардин, А.Н.** Структурная топология дисперсных систем [Текст] / А.Н. Хархардин, В.В. Строкова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2007. – 131 с.
135. **Мещерин, В.** Жесткий бетон – основы, применение и оптимизация [Текст] / В. Мещерин, М. Гетце // CPI - Международное бетонное производство. – 2009. – №1. – С. 88-93.
136. <http://www.mc-bauchemie.ru/articles/bistriy-nabor-prochnostivibro-pressovannih-izdeliy.18.html>
137. Рабочая документация для технологической линии «HESS». – 2009. – 214 с.
138. Рабочая документация для бетоносмесителей «SCHLOSSER PFEIFFER». – 2009. – 194 с.
139. **Андреас Верц.** Устройство выравнивания уплотнения бетонной смеси [Текст] / Андреас Верц // CPI - Международное бетонное производство. 2010. – №1. – С. 78-82.

140. **Гершберг, О.А.** Технология бетонных и железобетонных изделий [Текст] / О.А. Гершберг. – М., 1971. – 360 с.
141. **Савинов, О.А.** Теория и методы вибрационного формования железобетонных изделий [Текст] / О.А. Савинов, Е.В. Лавринович. – Л.: Стройиздат, 1972. – 152 с.
142. **Савинов, О.А.** Вибрационная техника уплотнения и формования бетонных изделий [Текст] / О.А. Савинов, Е.В. Лавринович. – Л.: Стройиздат, 1986. – 280 с.
143. **Блехман, И.И.** Вибрационное перемещение [Текст] / И.И. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе. – М.: Наука, 1964. – 412 с.
144. **Урьев, Н.Б.** Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов [Текст] / Н.Б. Урьев. – М.: Химия, 1988. – 255 с.
145. **Ребиндер, П.Л.** Физико-химическая механика [Текст] / П.А. Ребиндер. – М.: Знание, 1958. – 64 с.
146. **Гончаревич, И.Ф.** Теория вибрационной техники и технологии [Текст] / И.Ф. Гончаревич, К.В. Фролов. – М.: Наука, 1981. – 320 с.
147. **Вознесенский, В.А.** Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях [Текст] / В.А. Вознесенский. – М.: Статистика, 1974.
148. Рекомендации по применению методов математического планирования эксперимента в технологии бетона [Текст]. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1982. – 103 с.
149. **Гартман, Т.Н.** Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов [Текст] / Т.Н. Гартман, Д.В. Клушин. – М.: Академкнига, 2006. – 415 с.
150. **Джонс, М.** Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных [Текст] / М. Джонс, Ф. Лион. – М.: Мир, 1980. – 610 с.

151. **Барабашук, В.И.** Планирование эксперимента в технике [Текст] / В.И. Барабашук, Б.П. Креденцер, В.И. Мирошниченко. – Киев: Техніка, 1984. – 200 с.
152. **Горчаков, Г.И.** Опыт производства неавтоклавногo теплоизоляционного газобетона на Брежневском заводе ячеистого бетона [Текст] / Г.И. Горчаков, Г.П. Сахаров // Экспресс-информация. Отечественный опыт. Сер. 8. Промышленность автоклавных материалов и местных вяжущих. Вып. 7. – ВНИИСМ, 1986. – С. 19.
153. LANXESS. Цветные бетоны: указания к технологии изготовления// СРІ - Международное бетонное производство. – 2008. – №6. – С.80-86.
154. **Петер Вебер.** Цветной бетон – влияние, оказываемое на цвет процессами производства, ухода и состаривания [Текст] / Петр Вебер // СРІ - Международное бетонное производство. 2007. №6. С.32-37.
155. **ГОСТ 13015-2012.** Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения. – Введ. 01.01.2014. – М.: РИА, 2014. – 55 с.
156. **Херинг, К.** Выцветание бетона [Текст] / К. Херинг // СРІ – Международное бетонное производство. – 2010.– № 6. – С. 58–66.
157. **Тейлор, Х.** Химия цемента [Текст] / Х. Тейлор. – М.: Мир, 1996. – 560 с.
158. **Довгань, И.В.** Исследование высолов на тротуарной плитке [Текст] / И.В. Довгань, В.И. Жудина, Е.А. Маковецкая // Вісник ОДАБА. – 2008. – № 32.
159. **Сулейманова, Л.А.** Высокоплотные составы вибропрессованных бетонов [Текст] / Л.А. Сулейманова, И.А. Погорелова, М.В. Малюкова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 3. – С. 48–50.
160. **Пат. № 2476312.** Способ изготовления изделий из цветного архитектурного бетона и изделие, полученное этим способом [Текст] / Н.Н. Щербин, А.А. Боблак, М.В. Малюкова // Заявл. 27.09.11; опубл. 27.02.13. Бюл. № 6. – 3 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ
Приложение 1

РОССТАНДАРТ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
"ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И
ИСПЫТАНИЙ В БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ"

308007, г.Белгород, ул.Садовая, 110, тел.факс: (4722) 31-20-69; факс (4722) 26-13-32



УТВЕРЖДАЮ

Директор ФБУ "Белгородский ЦСМ"

Ю.П. Чефранов

Ю.П. Чефранов

ЭКСПЕРТНОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ № 092 от 23.12.2013г.

Плиты бетонные тротуарные

наименование и обозначение ТУ

ТУ 5746-001-62636323-2013

предприятие (организация), индивидуальный предприниматель - держатель подлинника ТУ

ООО "БЗ Арбет"

Экспертиза начата: 17.12.2013г.

Экспертиза окончена: 23.12.2013г.

Вопросы, поставленные перед экспертом: Построение, изложение, содержание, оформление, проверка кода ОКП, действие нормативной документации, согласование, экспертиза каталожного листа продукции

Результаты экспертизы:

1. Требования к титульному листу (построение, наименование, обозначение):

Титульный лист оформлен в соответствии с ГОСТ 2.114-95

2. Требования к основной части (построение, изложение, содержание, оформление):

Основная часть оформлена в соответствии с ГОСТ 2.114-95

3. Требования к приложениям:

Приложение оформлено в соответствии с ГОСТ 2.114-95

Инж. по стандартизации 1 кат
должность лица, проводившего экспертизу


подпись

Г.С. Лунев
инициалы, фамилия

КАТАЛОЖНЫЙ ЛИСТ ПРОДУКЦИИ

Код ЦСМ	01	041	Группа КГС (ОКС)	02	Ж18	Регистрационный номер	03	
Код ОКП			11	574600				
Наименование и обозначение продукции			12	ПЛИТЫ БЕТОННЫЕ ТРОТУАРНЫЕ				
Обозначение государственного стандарта			13	ГОСТ 17608-91				
Обозначение нормативного или технического документа			14	ТУ 5746-001-62636323-2013				
Наименование нормативного или технического документа			15	ПЛИТЫ БЕТОННЫЕ ТРОТУАРНЫЕ.				
ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ.								
Код предприятия – изготовителя по ОКПО и его штриховой код			16	62636323				
Наименование предприятия-изготовителя			17	ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ				
«БЕЛГОРОДСКИЙ ЗАВОД АРХИТЕКТУРНОГО БЕТОНА»								
Адрес предприятия – изготовителя (индекс, область, город, улица, дом)			18	308017, БЕЛГОРОДСКАЯ ОБЛ.,				
г.БЕЛГОРОД, ул. ЭНЕРГЕТИКОВ, д. 2								
Телефон	19	(4722)42-49-50		Телефакс	20	(4722)42-49-52		
Другие средства связи	21	belarbet@mail.ru						
Наименование держателя подлинника			23	ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ				
«БЕЛГОРОДСКИЙ ЗАВОД АРХИТЕКТУРНОГО БЕТОНА»								
Адрес держателя подлинника (индекс, область, город, улица, дом)			24	308017, БЕЛГОРОДСКАЯ ОБЛ.,				
г.БЕЛГОРОД, ул. ЭНЕРГЕТИКОВ, д. 2								
Дата начала выпуска продукции			25	01.10.2013				
Дата введения в действие нормативного или технического документа			26	01.01.2014				
Обязательность сертификации			27					

30. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКЦИИ

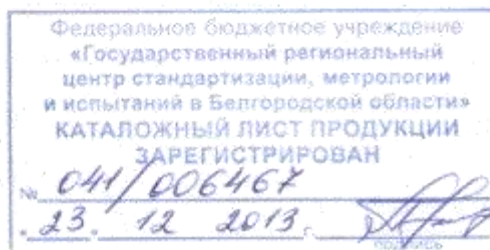
Плиты бетонные тротуарные различной цветовой гаммы, изготавливаемые из тяжелого и мелкозернистого (песчаного) бетонов по ГОСТ 26633, предназначенные для устройства сборных покрытий тротуаров, пешеходных и садово-парковых дорожек, площадей и улиц, посадочных площадок общественного транспорта, для отделения тротуаров от газонов и проезжей части, для оформления газонов, для сбора и отвода воды с поверхности тротуара или проезжей части, а также для других целей в зависимости от функционального предназначения изделий.

Плиты изготавливаются одно- и двухслойными; по цвету – неокрашенными, одноцветными, смешанных оттенков и переходных цветов.

По конфигурации плиты изготавливаются квадратными, прямоугольными, фигурными и любыми другими формами в плане.

Лицевая поверхность может быть гладкой или фактурной, с оформленной по краям фаской, глубиной и шириной до 10 мм, или без нее.

Прочность бетона плит характеризуется классами по прочности на сжатие: В22,5; В25; В 27,5; В30; В40.



	Фамилия	Подпись	Дата	Телефон
Представил	Шеин В.Н.		19.12.13	42-49-51
Заполнил	Малокова М.В.		19.12.13	42-49-51
Согласовано	Шелегова Г.А.		19.12.13	42-49-51
Зарегистрировал	Лунев Т.С.		23.12.13	(4722)31-20-6
Ввел в каталог				

ТУ 5746-001-62636323-2013

Настоящие технические условия (ТУ) распространяются на плиты бетонные тротуарные (далее — плиты) различной цветовой гаммы, изготавливаемые из тяжелого и мелкозернистого (песчаного) бетонов по ГОСТ 26633, предназначенные для устройства сборных покрытий тротуаров, пешеходных и садово-парковых дорожек, площадей и улиц, посадочных площадок общественного транспорта, для отделения тротуаров от газонов и проезжей части, для оформления газонов, для сбора и отвода воды с поверхности тротуара или проезжей части, а также для других целей в зависимости от функционального назначения изделий.

Плиты изготавливаются одно- и двухслойными; по цвету — неокрашенными, одноцветными, смешанных оттенков и переходных цветов.

По конфигурации плиты изготавливаются квадратными, прямоугольными, фигурными и любыми другими формами в плане.

Все изделия занесены в номенклатурный каталог предприятия-изготовителя (производителя) и различаются в зависимости от их функционального назначения по размерам, форме (конфигурации), марке и цвету.

1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Плиты должны изготавливаться в соответствии с требованиями настоящих технических условий и технологической документации, утвержденной в установленном порядке.

1.1 Основные параметры и размеры

1.1.1 Форма

1.1.1.1 Плиты подразделяют на типы в зависимости от конфигурации:

К — квадратные;

П — прямоугольные;

ПЛ — плиты лотковые (У — универсальные);

Ф — фигурные плиты и элементы мощения.

ТУ 5746-001-62636323-2013

1.1.1.2 Плиты обозначаются марками. Марка состоит из буквенно-цифровых групп, разделенных точками, обозначающих:

- первая цифра — порядковый номер конфигурации;
- буква — тип плиты;
- цифра после буквы — толщина плиты в сантиметрах (для плит лотковых указываются все геометрические размеры);
- цвет лицевой поверхности;
- технический документ, которому соответствуют данные плиты.

Пример условного обозначения:

3.К.6 белая - ТУ 5746-001-62636323-2013

3 — порядковый номер данной конфигурации;

К — квадратная;

6 — толщина 6 см;

белая — цвет лицевой поверхности;

ТУ — номер настоящих технических условий.

1.1.1.3 При выборе формы плит следует иметь в виду, что при укладке в покрытие плиты тротуарные должны разделяться швами. Примерная ширина швов - 4 мм.

1.1.1.4 Плиты могут изготавливаться с выступами на боковых гранях, предназначенными для обеспечения минимальной ширины шва.

1.1.2 Размеры

1.1.2.1 Габаритные размеры плит должны соответствовать указанным в таблице 1.

Таблица 1

Наименование, марка изделия		Размеры, мм		
		длина	ширина	толщина
«Прямоугольник» 1.П.4		197	97	40
«Прямоугольник» 1.П.6		197	97	60
«Прямоугольник» 1.П.8		197	97	80
«Квадрат» 1.К.6		197	197	60
«Квадрат малый» 2.К.6		97	97	60
«Бельпассо» 3.К.6		147	147	60
«Квадрат» 1.К.8		197	197	60
«Ромб» 5.Ф.6		333	197	60
«Волна» 3.Ф.6		240	128	60
«Бульвар» 1.Ф.4 (комплект)	№1	201	134	40
	№2	134	134	40
«Бархан» 1.Ф.6 (комплект)	№1	628	418	60
	№2	418	418	60
	№3	418	208	60
	№4	208	208	60
«Классико» 4.Ф.6 (комплект)	№1	172	115	60
	№2	115	115	60
	№3	115	113	60
	№4	115	108	60
«Старый город» 2.Ф.6 (комплект)	№1	260	160	60
	№2	160	100	60
	№3	160	160	60
«Ривьера» 7.Ф.6 (6.Ф.6) (комплект)	№1	200	120	60
	№2	120	120	60
	№3	120	80	60
«Плитка лотковая универсальная» 1.ПЛУ. 40.20.8		400	200	80

Примечание. Возможно изменение размеров по согласованию с Заказчиком.

1.1.2.2 Номинальный размер плиты по толщине не может быть менее 25 мм. Толщина плиты бетонной должна быть согласована изготовителем с потребителем.

1.1.2.3 Значение номинальной толщины плит бетонных должно выбираться в зависимости от категории городской улицы и дороги, нагрузки, формы плит, конструкции основания.

1.1.2.4 Номинальный размер плит следует назначать с точностью до 1 мм.

1.1.2.5 Лицевая поверхность может быть гладкой или фактурной, с оформленной по краям фаской, глубиной и шириной до 10 мм, или без нее.

1.1.2.6 Плиты могут изготавливаться одно- или двухслойными с толщиной верхнего (обычного или цветного) слоя бетона не менее 8% от общей толщины плиты.

1.1.3 Допуски

1.1.3.1 Значения действительных отклонений геометрических размеров плит не должны превышать предельных отклонений, указанных в таблице 2.

Таблица 2

Наименование показателя	Предельное отклонение, мм
Отклонение геометрических размеров: длина, ширина	± 3
толщина	± 2
до 40 мм (однослойная)	± 3
от 40 мм (двухслойная)	± 3
от 60 мм и более	± 3
Отклонение от прямолинейности профиля лицевой поверхности	5
Отклонение от плоскости лицевых и боковых поверхностей	5
Отклонение от перпендикулярности торцевых и смежных им граней	4

Длину, ширину и толщину плит измеряют по ГОСТ 26433.1.

1.1.3.2 Изделия должны изготавливаться со взаимно перпендикулярными, либо имеющими технологический уклон, боковыми гранями.

1.1.3.3 Фаска не должна быть смещена более 2 мм.

1.1.4 Характеристики лицевой поверхности

1.1.4.1 Плиты бетонные могут быть окрашены полностью или иметь только окрашенный лицевой слой.

1.1.4.2 Категория лицевой бетонной поверхности — А4, остальных поверхностей — А7 по ГОСТ 13015.

Трещины на поверхности плит не допускаются.

1.1.5 Прочность

1.1.5.1 Прочность бетона плит характеризуется классами по прочности на сжатие: В22,5; В25; В 27,5; В30; В40.

1.1.5.2 Прочность бетона плит на сжатие $R_{тр}$ в возрасте 28 суток не должна быть менее чем указано ниже. Эта прочность должна обеспечиваться с надежностью 0,95, то есть не менее 95% плит бетонных должны иметь прочность не ниже установленной в этом пункте.

- Для класса В 22,5 — 294,7 кгс/см²;
- Для класса В 25 — 327,4 кгс/см²;
- Для класса В 27,5 — 360,2 кгс/см²;
- Для класса В 30 — 392,9 кгс/см²;
- Для класса В 40 — 523,9 кгс/см²;

1.1.5.3 Прочность брусчатки бетонной на сжатие принимают по проекту строительства и указывают в заказе потребителя.

1.1.5.4 Значение нормируемой отпускной прочности плит бетонных должно составлять 70% в теплый период года и 90 % в холодный период года от прочности, определяемой в приложении 3.

Периоды года принимают, начиная и кончая месяцами, характеризующимися среднемесячной температурой наружного воздуха в соответствии со СНиП 23-01 и ГОСТ 13015.

Допускается по согласованию потребителя с изготовителем значение нормируемой отпускной прочности бетона плит принимать 70 % в любое время года.

ТУ 5746-001-62636323-2013

1.1.6 Морозостойкость

1.1.6.1 Марку бетона плит по морозостойкости принимают по проекту строительства, но не ниже указанной в таблице 3, в зависимости от расчетной температуры наружного воздуха наиболее холодной пятидневки района строительства и указывают в заказе на изготовление плит.

Таблица 3

Расчетная температура наружного воздуха, °С	Марка бетона по морозостойкости
Ниже минус 45	F300
От минус 15 до минус 45	F200
« 5 « 15 «	F150
« 0 « 5 «	F100

1.1.6.2 Марка бетона плит по морозостойкости для классов В22,5; В25; В27,5; В30; В40 должна быть не ниже F 200, определяемой по приложению к настоящим техническим условиям.

1.1.7 Водопоглощение

1.1.6.1 Водопоглощение бетона плит не должно превышать по массе 6 %.

1.1.8 Истираемость

1.1.8.1 Истираемость бетона лицевого слоя плит в зависимости от условий работы покрытий должна удовлетворять требованиям ГОСТ 13015.

1.2 Требования к сырью и материалам

1.2.1 Изделия изготавливаются из тяжелого или мелкозернистого бетона по ГОСТ 26633.

1.2.2 Состав бетонной смеси следует подбирать так, чтобы обеспечить все требования настоящих ТУ.

1.2.3 Для приготовления бетонной смеси следует применять серый портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 Н по ГОСТ 30515.

ТУ 5746-001-62636323-2013

Допускается в качестве вяжущего применять портландцементы, производимые в других странах, при соответствующем техническом и экспериментальном обосновании с обеспечением требуемых настоящими ТУ показателей прочности, морозостойкости, водопоглощения и истираемости.

1.2.4 В качестве мелкого заполнителя для плит применяются пески по ГОСТ 8736, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 26633.

Для мелкозернистого бетона применяются пески с модулем крупности не менее 1,5, а для тяжелого бетона – не менее 1,2.

1.2.5 В качестве крупного заполнителя применяют щебень по ГОСТ 8267, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 26633.

Наибольший размер зерен крупного заполнителя не должен превышать 20 мм.

1.2.6 Марки щебня по прочности на сжатие должны быть не ниже:

- 1200 – для щебня из изверженных пород;
- 800 – для щебня из осадочных пород.

1.2.7 Марка щебня по морозостойкости должна быть не менее F200.

1.2.8 В качестве добавок при приготовлении бетона плит допустимо применять добавки улучшающие качество бетона и удовлетворяющие требованиям ГОСТ 24211, ГОСТ 26633 (приложение 4), ГОСТ 17608 (приложение 3) и действующим нормативным документам поставщика.

Виды и объем (массу) вводимых добавок определяют опытным путем в зависимости от вида, качества материалов, используемых для приготовления бетонной смеси, технологии изготовления изделий, режимов тепловой обработки.

1.2.9 Для изготовления цветных изделий следует применять пигменты до 10% от массы цемента согласно ГОСТ 17608 (приложение 4) и другие пигменты по нормативному документу поставщика.

Виды и количество пигментов, вводимых в бетонную смесь, указываются в технологической документации или подбираются опытным путем.

1.2.10 Вода для приготовления бетона должна отвечать требованиям ГОСТ 23732.

ТУ 5746-001-62636323-2013

1.3 Комплектность

1.3.1 В комплект каждой партии изделий должен входить документ о качестве, в каждый пакет плит бетонных тротуарных должна быть вложена этикетка с отметкой штампа технического контроля.

Документ о качестве по ГОСТ 13015-2003.

1.4 Маркировка

1.4.1 Маркировка наносится на этикетку (ярлык) или указывается в товарно-сопроводительной документации.

1.4.2 На этикетке (ярлыке) должно быть указано:

- Наименование и марка изделия;
- наименование фирмы-изготовителя;
- юридический адрес изготовителя;
- дата изготовления;
- номер смены, в которую изделия были изготовлены;
- количество изделий в упаковке;
- масса изделий в упаковке.

1.4.3 Этикетка (ярлык) крепится на упаковке на видном месте.

1.4.4 Дополнительная информация на изделия должна быть указана в документе о качестве.

1.5 Упаковка

1.5.1 Изделия упаковываются с деревянным поддоном. Эти поддоны имеют решетчатую конструкцию, состоящую из деревянных досок и брусков, которая обладает жесткостью для обеспечения сохранности продукции при транспортировании.

1.5.2 Изделия выпускаются в упакованном виде. Допускается по согласованию с потребителем выпуск изделий в неупакованном виде.

1.5.3 Плиты укладывают штабелями на поддоны. Плиты могут фиксироваться при помощи стрейтч-пленки и обтягиваться полиэстеровой или полипропиленовой лентой, обеспечивающей сохранность плит.

ТУ 5746-001-62636323-2013

1.5.4 Для сохранности лицевой поверхности изделий при формировании пакета используются прокладочные материалы.

1.5.6 Неупакованные изделия укладывают непосредственно в транспортное средство.

1.5.7 При перевозке неупакованных изделий укладка должна быть такой, чтобы обеспечивалась устойчивость в процессе транспортирования и хранения.

2. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

2.1 Каждая установка, задействованная в процессе производства плит тротуарных, создана с соблюдением правил техники безопасности. При неправильном ее использовании машина может представлять собой опасность.

2.2 При изготовлении изделий следует руководствоваться «Правилами безопасности и производственной санитарии в промышленности строительных материалов». М., Стройиздат, 1987 г. и санитарными нормами и правилами СНиП III-4-80 «Техника безопасности в строительстве».

2.3 Организационные мероприятия.

2.3.1 Работник должен вводить машину в действие только при ее исправном состоянии.

2.3.2 Перед началом работы персонал должен быть ознакомлен с инструкцией по эксплуатации, и, особенно, с разделом по технике безопасности.

2.3.3 Все надписи по технике безопасности должны быть хорошо видны и легко читаемы.

2.3.4 Установку запрещается включать без смонтированного блокирующего устройства безопасности.

2.4 Основные обязанности персонала.

2.4.1 К работе с установками допускается персонал, достигший 18 лет и прошедший специальное обучение.

ТУ 5746-001-62636323-2013

2.4.2 Установка не должна вводиться в действие без надзора обслуживающего персонала. Обслуживающий машину ответственен за то, чтобы никто из посторонних не допускался к работе.

2.4.3 Обслуживающий машину обязан ее остановить и заявить о помехах, если возникли изменения, угрожающие безопасности.

2.4.4 Обслуживающий обязан заботиться о соблюдении чистоты и обозримости рабочего места.

2.4.5 К работе с гидравлическими устройствами необходимо назначать работников только со специальными знаниями и опытом в гидравлике.

2.4.6 Проведение работ на электрооборудовании разрешается только электротехникам или под руководством и наблюдением электрика, соблюдая правила безопасности.

2.5. Указания по безопасности на определенных производственных стадиях.

- Установка в процессе работы никогда не оставлять без присмотра.
- Машину эксплуатировать только в том случае, если все устройства, находящиеся в работоспособном, блокированном и предохранительном состоянии, отвечают условиям безопасности.
- Не изменять, не демонтировать и не убирать из производства устройств по безопасности.
- Вытяжные и вентилирующие устройства у работающей машины не отключать.

2.5.1 Электрические устройства.

- Электрическая установка или оборудование должны регулярно контролироваться. Все недостатки должны немедленно устраняться. При помехах или перебоях в электроснабжении установку следует немедленно отключить.

2.5.3 Газ, пыль, пары, дым.

- Перед проведением сварочных, шлифовальных работ необходимо очистить от пыли и легковоспламеняющихся материалов установку и площадь вокруг нее, а также позаботиться о достаточной вентиляции.

ТУ 5746-001-62636323-2013

2.5.4 Гидравлика, пневматика.

- Все линии, шланги и резьбовые соединения необходимо регулярно перепроверять на надежность и плотность соединений.
- Открываемые секции системы и напорные трубопроводы, перед началом ремонтных работ и техническим обслуживанием, должны освобождаться от давления соответственно описанию строительных узлов.

2.5.5 Устройства для защиты от шума.

- Устройства по защите от шума на машине или установке во время работы должны находиться в рабочем положении.

2.5.6 Химические вещества и масла.

- При работе с кислотами, щелочами и другими растворителями, химическими веществами и маслами соблюдать все требования безопасности установленными для работы с такими веществами.

2.5.7 Сырьевые материалы.

- Сырьевые материалы для приготовления изделий должны иметь радиационно-гигиеническую оценку, по результатам которой устанавливают область их применения.
- Удельная эффективная активность естественных радионуклидов ($A_{\text{эфф}}$) сырьевых материалов, используемых для производства бетона, должна быть не более 370 Бк/кг в соответствии с приложением А ГОСТ 30108.

2.5.8 Изделия негорючие, огнестойкие, относятся к нетоксичным материалам и не имеют специальных требований.

3. ТРЕБОВАНИЯ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

3.1 Технологическая линия по изготовлению плит бетонных тротуарных не должна наносить вред окружающей среде.

ТУ 5746-001-62636323-2013

4. ПРАВИЛА ПРИЕМКИ

4.1 Изделия принимаются партиями по разделам настоящих ТУ.

4.1.1 Плиты должны быть приняты службой технического контроля завода-производителя.

4.1.2 За партию принимают изделия, изготовленные по одной технологии в течение не более одних суток из материалов одного вида и качества, оформленные одним документом о качестве.

4.2 Плиты принимают:

- по результатам периодических испытаний – по показателям прочности, морозостойкости, водопоглощения и истираемости;
- по результатам приемо-сдаточных испытаний – по показателям прочности (классу бетона по прочности на сжатие, отпускной прочности), точности геометрических размеров, категории бетонной поверхности.

Контроль плит на морозостойкость, истираемость и водопоглощение проводят при освоении производства, изменении состава бетона, технологии, вида и качества материалов, но не реже одного раза в 6 месяцев.

Контроль бетона плит по прочности на сжатие проводится каждые сутки, так же каждый раз при изменении класса бетона, технологии изготовления и конфигурации изделий по ГОСТ 18105.

4.2.1 Соответствие плит требованиям к точности геометрических размеров и качеству бетонных поверхностей проверяют выборочным одноступенчатым контролем.

Изделия по показателям точности геометрических размеров, категории бетонной поверхности и ширины раскрытия технологических трещин следует принимать по результатам выборочного контроля в соответствии с таблицей 4.

Таблица 4

Объем партии, м ²	Объем выборки, м ²	Приемочное число, м ²
До 100	5	1
100 – 300	10	2
300 – 500	20	3
500 – 1000	30	5
Св. 1000	50	7

Партия принимается, если количество дефектных образцов в выборке по каждому контролируемому параметру не превышает приемочное число. Если по какому-либо параметру количество этих образцов больше приемочного числа, партия должна быть подвергнута сплошному контролю по этому параметру.

5. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

5.1 Прочность бетона на сжатие следует определять в соответствии с приложением 3 к настоящим ТУ и ГОСТ 18105.

5.2 Морозостойкость бетона определяют в соответствии с приложением 4 к настоящим ТУ и ГОСТ 10060.0 – ГОСТ 10060.4.

5.3 Водопоглощение бетона изделий определяют по ГОСТ 12730.3.

5.4 Истираемость бетона изделий определяют по ГОСТ 13087.

5.5 Для проведения испытаний на морозостойкость и истираемость образцы плит бетонных отбирают при каждом изменении количественного или качественного состава бетонной смеси или технологии производства, но не реже одного раза в 6 месяцев.

5.6 Контроль формы и размеров следует проводить в соответствии с данными, представленными в табл. 1.

5.6.1 Длину, ширину и толщину плит бетонных измеряют по ГОСТ 26433.1.

Для проведения контроля геометрических параметров используется металлическая линейка по ГОСТ 427, штангенциркуль по ГОСТ 166 и плиты бетонные, отбираемые в соответствии с п.4.2.1.

5.7 Размеры отклонений от прямолинейности и перпендикулярности плит, размеры раковин, наплывов и оков бетона следует проверять методами, установленными ГОСТ 26433.0, ГОСТ 26433.1.

5.8 Цвет окрашенной поверхности плит бетонных определяется сравнением с двумя эталонами. Эталоны представляют собой два изделия одного цвета с разной степенью насыщенности цветовой гаммы. Сравниваемые изделия должны быть помещены между двумя эталонными изделиями. Сравнение с эталонами проводят при дневном свете на открытой площадке с расстояния 10 м от глаз наблюдателя.

Плиты бетонные тротуарные, окрашенные по технологии смешивания цветов («Колормикс»), не имеют эталона цвета.

На лицевой поверхности плит бетонных тротуарных, окрашенных по технологии смешивания цветов («Колормикс»), должны присутствовать все цвета, заявленные в номенклатурном каталоге предприятия-изготовителя на данный вид продукции. В партии допускается наличие незначительного количества плит бетонных тротуарных, окрашенных в один цвет, заявленный в номенклатурном каталоге предприятия-изготовителя на данный «Колормикс».

6. ТРАНСПОРТИРОВКА И ХРАНЕНИЕ

6.1 Транспортировать и хранить изделия следует в соответствие с требованиями ГОСТ 13015-2003 и настоящих ТУ.

6.2 Изделия хранят на складе готовой продукции упакованными на поддонах и рассортированными по маркам и видам.

6.3 Погрузка плит навалом и разгрузка их сбрасыванием не допускается.

6.4 Транспортирование плит бетонных автомобильным и железнодорожным транспортом следует осуществлять в соответствии с действующими на этих видах транспорта правилами.

6.5 Поставка плит бетонных, для сохранности лицевой поверхности, должна осуществляться на поддонах, согласно норм, транспортом любого вида.

6.6 Размещение и крепление пакетов плит в полувагоны при железнодорожных перевозках должны выполняться в соответствии с установленными ИТУ, утвержденными ОАО «Российские железные дороги».

6.7 Высота штабеля пакетов плит с поддоном при транспортировании не должна превышать 1,6 м.

ТУ 5746-001-62636323-2013

7. УКАЗАНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

7.1 Плиты бетонные тротуарные высотой 40 мм предназначены для устройства садово-парковых дорожек, дворовых территорий без заезда транспорта; 60 мм - для пешеходных зон, тротуаров, дворовых территорий, с возможным заездом легкового транспорта; 80 мм и более – для устройства покрытий автомобильных дорог, стоянок легкового автотранспорта.

7.2 Укладка плит тротуарных, окрашенных по технологии смешивания цветов («Колормикс») производится выборочно, при открытии одновременно трех и более поддонов с целью создания уникального сочетания цветов. Количество в поддоне плит каждого оттенка не нормируется.

7.3 Плиты бетонные укладываются на выровненные щебеночные, бетонные, стабилизированные и песчаные основания такой толщины, которая отвечает определённым физико-механическим показателям основания и условиям эксплуатации тротуаров, указанных в проектах строительства.

7.4 В качестве выравнивающего слоя целесообразно использовать сухие или увлажненные песчано-цементные смеси с содержанием цемента от 100 до 150 кг/м³.

7.5 Заполнение швов должно производиться параллельно с укладкой. Для заполнения следует использовать природный песок, дробленный песок или смеси различных видов песков по ГОСТ 8736.

7.6 Окончательную посадку плит бетонных следует производить с помощью ручной виброплиты до прекращения видимой осадки изделий.

8. ГАРАНТИЯ ИЗГОТОВИТЕЛЯ

8.1 Предприятие-изготовитель гарантирует соответствие продукции требованиям настоящих ТУ при соблюдении правил транспортирования, хранения и условий эксплуатации.

8.2 Высолы не являются показателем некачественной продукции, не изменяют технических и эксплуатационных свойств изделий и по истечению нескольких лет эксплуатации под воздействием атмосферных осадков исчезают.

ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

- ГОСТ 427-75. Линейки измерительные металлические. Технические условия.
- ГОСТ 965-89. Портландцементы белые. Технические условия.
- ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.
- ГОСТ 8736-93. Песок для строительных работ. Технические условия.
- ГОСТ 10060-2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости. Общие требования.
- ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
- ГОСТ 18105-2010. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.
- ГОСТ 12730.3-78. Бетоны. Методы определения водопоглощения.
- ГОСТ 13015-2003. Изделия железобетонные и бетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортировки и хранения.
- ГОСТ 13087-81. Бетоны. Методы определения истираемости.
- ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.
- ГОСТ 17608-91. Плиты бетонные тротуарные. Технические условия.
- ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и растворов. Технические условия.
- ГОСТ 24211-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия.
- ГОСТ 26433.0-85. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Общие положения.
- ГОСТ 26433.1-89. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Элементы заводского изготовления.
- ГОСТ 26633-91. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.

ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов

ГОСТ 30515-97. Цементы. Общие технические условия.

ГОСТ 166-89. Штангенциркули. Технические условия.

ГОСТ 4233-77. Натрий хлористый. Технические условия.

ТУ 5746-001-62636323-2013

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1 Настоящие технические условия предполагают следующее:

- Плиты тротуарные должны укладываться в покрытие со стыковыми швами, заполняемыми песком или другими материалами;
- Плиты тротуарные должны укладываться на основание, соответствующее категории городской улицы или дороге, виду и физико-механическим характеристикам грунтов, с учетом уровня грунтовых вод.
- Плиты тротуарные должны укладываться по окончании всех других строительно-монтажных работ, производимых на участке, во избежание загрязнения поверхности плит строительной пылью, цементом и другими строительными материалами и отходами.

2.2 Источники и нормативные указания, используемые в настоящих технических условиях.

2.2.1 В настоящих технических условиях даются ссылки на ГОСТ и другие нормативные документы, действующие на 01.01.2014 года. Список государственных стандартов, на которые делаются ссылки в настоящих технических условиях, приведен в приложении 1.

2.2.2 Введение новых нормативных документов или изменения, произведенные после указанного выше срока, не изменяют требований настоящих технических условий вплоть до внесения изменений в настоящие ТУ или их пересмотра.

2.2.3 Технические условия подлежат проверке не реже одного раза в пять лет со дня введения в действие или срока последней проверки, если не возникает необходимость поверять их раньше в случае принятия нормативно-законодательных актов, соответствующих национальных (межгосударственных) стандартов и других нормативных документов, которыми регламентированы другие требования, отличные от установленных ранее в технических условиях.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 (обязательное)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПЛИТ БЕТОННЫХ НА СЖАТИЕ**3.1 Отбор проб**

3.1.1 Отбор образцов плит для проведения испытаний на прочность производится при выгрузке изделий из сушильной камеры непосредственно с технологической линии. Для испытаний должно быть отобрано не менее 6 образцов.

Если в одну номенклатуру входят плиты бетонные тротуарные разного геометрического размера в плане, то отбирают не менее 2 образцов каждого размера (общее количество отобранных образцов должно быть не менее 6).

Если геометрические размеры отобранного образца плит бетонных тротуарных в плане не превышает 250 мм в длину и 250 мм в ширину, то отобранный образец плиты испытывается целиком.

Если геометрические размеры отобранного образца плит бетонных тротуарных в плане превышает 250 мм в длину и 250 мм в ширину, то из него выпиливается образец размером в плане 150x150 мм.

3.1.2 При необходимости образцы могут быть отобраны со склада.

3.1.3 Также отбор образцов плит бетонных возможен на строительной площадке. Для этого следует отобрать не менее 6 образцов с каждых 200 м² сборного покрытия. Образцы плит должны отбираться непосредственно перед укладкой. Не допускается отбор изделий из одного и того же ряда и того же транспортного поддона (пакета).

3.1.4 В сопроводительной документации должны быть зафиксированы время и место предполагаемой укладки каждого отобранного образца. Эти материалы должны храниться в лаборатории вместе с результатами испытаний, а по их требованию подлежат передаче заказчику.

3.1.5 После отбора изделия должны быть испытаны в течение 5 часов.

3.2 Оборудование

3.2.1 Пресс для испытаний на сжатие, поверенный.

3.2.2 Два листа гофрокартона с размерами сторон не менее размера образца и толщиной не менее 1,5 мм.

3.3 Методика

3.3.1 Образцы плит бетонных отбирают в соответствии с п. 4.2.1, выдерживают перед испытанием не менее 2 часов при температуре $20 \pm 5^\circ\text{C}$ и относительной влажности не менее 55 %.

3.3.2 Перед испытанием образцы плит следует осмотреть на наличие дефектов (отслоения, околы ребер, раковины, инородные включения, расслоения бетонной смеси). Если такие имеются ее следует отбраковать.

3.3.3 Установить образец плиты бетонной на плиту пресса лицевой поверхностью вверх.

Если лицевая поверхность образца фактурная, то эта поверхность должна быть выровнена путем шлифования или нанесения слоя быстротвердеющего материала толщиной не менее 2 мм.

3.3.5 Установить листы картона симметрично между образцом и плитами пресса в соответствии с рис. 3.1



- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| 1 – верхняя плита пресса; | 2 – верхний лист картона; |
| 3 – брусчатка бетонная; | 4 – нижний лист картона; |
| 5 – нижняя плита пресса. | |

Рисунок 3.1 Схема испытания образца плиты бетонной на сжатие

При установке образца следует использовать риски, нанесенные на плиту пресса.

3.3.6 После установки образца следует совместить верхнюю плиту пресса с верхней гранью плиты бетонной так, чтобы их плоскости полностью прилегали друг к другу.

3.3.7 Нагрузка выполняется до полного разрушения образца.

3.3.8 Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, должно быть отмечено в журнале испытаний. Также следует указать характер разрушения, наличие глины в комках и наличие раковин внутри плитки.

По результатам испытания серии образцов плит бетонных определяют прочность каждой плиты R_i . Прочность в МПа вычисляется по формуле:

$$R = \frac{P}{0,1 \times S_{cp}},$$

где P - разрушающее усилие, кН;

S_{cp} – средняя площадь контакта образца плиты бетонной со стальными плитами пресса, см^2 .

Среднюю площадь контакта образца вычисляют по формуле:

$$S_{cp} = \frac{S_{\phi} + S_{ocн}}{2},$$

где S_{ϕ} – площадь образца плиты бетонной по периметру фаски, см^2 ;

$S_{ocн}$ – площадь опорной поверхности, определяемая по периметру образца плиты бетонной без учета фаски, см^2 .

3.3.9 За результат испытаний принимают среднее значение прочности на сжатие образцов плит бетонных в серии R_{cp} , МПа.

Полученную среднюю прочность на сжатие плит бетонных тротуарных в серии R_{cp} сравнивают с $R_{тр}$, указанной в п. 1.1.5.2 настоящих ТУ.

ТУ 5746-001-62636323-2013

ПРИЛОЖЕНИЕ 4(обязательное)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ В МАРКИ ПО МОРОЗОСТОЙКОСТИ ПЛИТ БЕТОННЫХ

4.1 За марку по морозостойкости плит бетонных тротуарных принимают количество циклов попеременного замораживания и оттаивания, после которых прочность плит на сжатие не снижается или снижается не более чем на 5%, а потеря массы составляет не более 3%.

4.2 Испытание плит бетонных на морозостойкость начинают в возрасте 28 суток.

4.3 Отбор плит бетонных следует производить по рекомендациям, изложенным в пункте 5.5 настоящих ТУ. Число отбираемых образцов плит бетонных должно составлять не менее 9 штук. Непосредственно испытанию на морозостойкость подвергаются не менее 6 образцов, остальные образцы плит бетонных являются контрольными.

4.4 Перед испытанием образцы плит выдерживают в 5% растворе NaCl, при температуре $(+18 \pm 2^\circ\text{C})$. Насыщение производят в течение 4 суток путем погружения образцов в раствор на 1/3 толщины образца в течение первых суток, на 2/3 толщины в течение вторых суток и полностью погруженными в раствор в течение третьих и четвертых суток. При этом толщина слоя раствора, соприкасающаяся с любой гранью плиты, должна быть не менее 2 см.

4.5 После насыщения образцы плит следует извлечь из ванной, вытереть влажной тканью или ветошью и взвесить с точностью до 1 г.

Не менее трех извлеченных из ванны контрольных образцов необходимо выдержать в течение 2-4 часов, взвесить с точностью до 1 г., и испытать по методике определения прочности на сжатие плит бетонных.

4.6 Контроль морозостойкости осуществляется при температуре замораживания $-18 \pm 2^\circ\text{C}$.

ТУ 5746-001-62636323-2013

4.7 Метод испытания

4.7.1 Оборудование и материалы

- морозильная камера, обеспечивающая температуру в пределах $(-18 \pm 2^\circ\text{C})$;
- ванна для насыщения плит бетонных раствором хлорида натрия;
- ванна для оттаивания плит бетонных с устройством для поддержания постоянной температуры воды в пределах $(+18 \pm 2^\circ\text{C})$;
- сетчатые, решетчатые подставки или контейнеры из нержавеющей стали или других материалов, устойчивых к коррозии;
- 5% раствор хлорида натрия (NaCl) по ГОСТ 4233 в воде.

4.7.2 Методика

4.7.2.1 Насыщенные в растворе хлорида натрия образцы плит бетонных (не менее 6), предназначенные для контроля марки по морозостойкости поместить в морозильную камеру с температурой $(-18 \pm 2^\circ\text{C})$.

4.7.2.2 Плиты бетонные следует устанавливать опорной поверхностью на сетчатые, решетчатые подставки или контейнеры. Толщина слоя воздуха между образцами, а так же боковой гранью плиты и стенкой морозильной камеры должна быть не менее 5 см.

4.7.2.3 В ходе испытания следует измерять температуру воздуха в камере. Температуру измеряют в центре камеры и в непосредственной близости от поверхности плит.

4.7.2.4 Замораживание и оттаивание производят по режиму, указанному в таблице 3.1.

Если в процессе замораживания плит бетонных температура воздуха в камере поднялась выше -16°C , то за начало замораживания следует принимать момент, когда температура вновь опустилась до -16°C .

ТУ 5746-001-62636323-2013

Таблица 3.1

Температурный режим при испытаниях

Толщина плиты бетонной, мм	Режим испытания			
	Замораживание	Оттаивание		
	Время, часы	Температура, °C	Время, часы	Температура, °C
40	>2,0	-18±2°C	1,5±0,5	+18±2°C
60	>2,0		1,5±0,5	
80	>2,5		2,0±0,5	

4.7.2.5 Оттаивание производится в ванне с 5%-ным раствором хлорида натрия. Раствор следует менять после каждых 50 циклов замораживания и оттаивания.

4.7.2.6 После 150 циклов попеременного замораживания и оттаивания, из ванны для оттаивания следует извлечь не менее 3-х образцов плит бетонных, вытереть их влажной тканью или ветошью и взвесить с точностью до 1 г. Спустя 2-4 часа эти образцы должны быть испытаны на сжатие по методике определения прочности на сжатие. Непосредственно перед испытанием эти образцы плит бетонных следует осмотреть.

4.7.2.7 Если более чем половина из них имеют поверхность, разрушенную более, чем на 15 %, то испытание следует прекратить с заключением, что требуемая морозостойкость не достигнута.

4.7.2.8 После 200 циклов попеременного замораживания и оттаивания повторяется та же процедура, что и после 150 циклов.

4.7.3 Обработка результатов.

7.3.1 Средняя прочность плит бетонных после 200 циклов не должна быть меньше 95 % средней прочности серии контрольных образцов плит. Потеря массы не должна превышать 3%.

Лист регистрации изменений									
Изм.	Номер листов (страниц)				Всего листов (страниц) в докум	№ докум.	Входящий № сопроводительного документа и дата	Подпись	Дата
	измененных	замененных	новых	аннулированных					
1	-	15	-	-	26	-	А.1.1-2014		5.04.14
2	-	20-22	-	-	26	-	А.1.1-2014		5.04.14

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2476312

**СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЦВЕТНОГО
АРХИТЕКТУРНОГО БЕТОНА И ИЗДЕЛИЕ,
ПОЛУЧЕННОЕ ЭТИМ СПОСОБОМ**

Патентообладатель(ли): *Общество с ограниченной
ответственностью "Белгородский завод архитектурного
бетона" (ООО "БЗ АрБет") (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2011139350

Приоритет изобретения 27 сентября 2011 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Российской Федерации 27 февраля 2013 г.

Срок действия патента истекает 27 сентября 2031 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



АКТ

о выпуске опытной партии вибропрессованной тротуарной плитки по результатам диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук Малиюковой Марины Валерьевны

г. Белгород

«20» февраля 2012г.

Комиссия в составе:

представитель ООО «Белгородский завод архитектурного бетона»
главный технолог С.Ю. Юшта
представители БГТУ им. В.Г. Шухова
канд. техн. наук, профессор Л.А. Сулейманова
аспирант М.В. Малиюкова

участвовала в выпуске опытной партии плитки тротуарной на оптимизированном составе, модифицированном комплексной добавкой Murasan BWA 19 (MC-Bauchemie), методом полусухого вибропрессования на технологической линии «HESS» по рекомендуемым режимам вибропрессования: длительность промежуточной вибрации 0,3 с; длительность основной вибрации 3 с; частота вибрации 45 Гц; сила вибрации 650 Н/кг.

При выпуске опытной партии использовались следующие сырьевые материалы:

- цемент ЦЕМ I 42,5Н (ЗАО «Белгородский цемент»);
- песок курского месторождения с модулем крупности $M_{кр}=1,5$;
- песок вяземского месторождения с модулем крупности $M_{кр}=2,2$;
- щебень фр. 5...10 и 2...5 ЗАО («Кировоградгранит», Новгородковский ГК);
- добавка Murasan BWA 19 (MC-Bauchemie);
- вода, водопроводная.

Плитка тротуарная, изготовленная на оптимизированном составе модифицированном комплексной добавкой Murasan BWA 19 и по рекомендуемым режимам вибропрессования была испытана на соответствие требованиям ГОСТ 17608-91 «Плиты бетонные тротуарные. Технические условия». Выпущенная опытная партия имеет следующие физико-механические характеристики: прочности на сжатие $R_1 = 27,7$ МПа, $R_{28} = 52$ МПа; водопоглощение 3,7 %; морозостойкость F300; истираемость бетона плит лицевого слоя 0,43 г/см².





ООО «Белгородский завод архитектурного бетона»

РОССИЯ, 308017,
г. Белгород,
ул. Энергетиков, 2
тел./факс: (4722) 21-17-12; 21-17-35,
e-mail: belarbet@mail.ru

www.belarbet.ru

Выпущенная опытная партия плитки тротуарной была применена в качестве элементов благоустройства дворовых территорий по ул. Левобережная в г. Белгород в соответствии с городской целевой программой благоустройства дворовых территорий «Белгородский двор» (2008-2011).

Предприятие ООО «БЗ АрБет» приняло к внедрению результаты диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук Малюковой М.В. – разработанный оптимизированный состав модифицированный добавкой Murasan BWA 19 и рекомендуемые режимы вибропрессования, для производства плитки тротуарной.

Экономический эффект составил 88 руб/м².

Главный технолог

С.Ю. Юшта

Канд.тех.наук, профессор

Л.А. Сулейманова

Аспирант

М.В. Малюкова





АКТ

о выпуске опытной партии вибропрессованной тротуарной плитки по результатам диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук
Малюковой Марины Валерьевны

г. Белгород

«21» марта 2014г.

Комиссия в составе: **представитель ООО «БЗ АрБет»**

главный инженер А.А. Боблак

представители БГТУ им. В.Г.Шухова

к.т.н. профессор Л.А.Сулейманова

аспирант М.В.Малюкова

участвовала в выпуске опытной партии двухслойной плитки тротуарной на оптимизированном составе модифицированном комплексной добавкой Murasan BWA 19 (МС-Bauchemie) с оптимально подобранным водоцементным отношением и по рекомендуемым режимам вибропрессования. Окрашивание лицевого слоя тротуарной плитки было выполнено по рекомендуемому способу. Опытная партия плитки была изготовлена методом полусухого вибропрессования на технологической линии «HESS».

При выпуске опытной партии использовались следующие сырьевые материалы:

- цемент ЦЕМІ42,5Н производства ЗАО «Белгородский цемент»;
- песок из курского карьера с модулем крупности $M_{кр}=1,5$;
- песок из вяземского карьера с модулем крупности $M_{кр}=2,2$;
- щебень фр. 5-10 из кировоградского карьера;
- щебень фр. 2-5 из кировоградского карьера.

Режим вибропрессования:

- длительность промежуточной вибрации 0,80 с;
- длительность основной вибрации 3,4 с;
- частота вибрации 45 Гц;
- сила вибрации 650 Н/кг.

Плитка тротуарная, изготовленная на оптимизированном составе, модифицированном комплексной добавкой Murasan BWA 19, с оптимально подобранным водоцементным отношением, по рекомендуемым режимам вибропрессования и окрашивания лицевого слоя была испытана на соответствие требованиям ТУ 5746-001-62636323-2013 «Плиты бетонные тротуарные». Выпущенные изделия имеют следующие физико-механические характеристики: предел прочности на сжатие $R_1=37,6$ МПа, $R_{28}=62,0$ МПа; водопоглощение 2,4%; морозостойкость F400; истираемость бетона плит лицевого слоя 0,21 г/см².



Выпущенная опытная партия плитки тротуарной была использована в качестве элементов благоустройства тротуаров и дворовых территорий по ул. Конева и ул. Корочанская в г.Белгород.

Предприятие ООО «БЗ АрБет» приняло к внедрению разработанный оптимизированный состав, модифицированный добавкой Murasan BWA 19, с оптимально подобранным водоцементным отношением, по рекомендуемым режимам вибропрессования и окрашивания лицевого слоя для производства двухслойной тротуарной плитки.

Экономический эффект составил 104 руб/м².

Уровень продаж цветной тротуарной плитки вырос на 10%.

Снижен уровень бракованной продукции с 5% до 1,2%.

Главный инженер

К.т.н. профессор

Аспирант

А.А. Боблак

Л.А. Сулейманова

М.В. Малокова

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
(БГТУ им. В. Г. Шухова)

УТВЕРЖДАЮ



Ректор БГТУ им. В. Г. Шухова

С.Н. Глаголев

«17» 03 2014 г.

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

Плиты бетонные тротуарные вибропрессованные

СТО 02066339-016-2014

СОГЛАСОВАН:

Проректор
по научной работе
Е. И. Евтушенко

«28» 02 2014 г.

РАЗРАБОТАН:

Науч. руков.: д-р техн. наук, проф.

Л.А. Сулейманова

«28» 02 2014 г.

Исполнитель: аспирант

М.В. Малокова

«28» 02 2014 г.

Белгород 2014 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. В. Г. ШУХОВА

УДК 691

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по научной работе

Е. И. Евтушенко

«17» 03 2014 г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

на производство плит бетонных тротуарных вибропрессованных

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор

ООО «Белгородский завод

архитектурного бетона»

_____ К.В. Клет

«28» 03 2014 г.

**РАЗРАБОТАНО**

Научный руководитель:

д-р техн. наук, проф.

_____ Л.А. Сулейманова

Аспирант кафедры СМИиК

_____ М.В. Малюкова

«28» 03 2014 г.

Белгород 2014

Приложение 7

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор
БГТУ им. В.Г. Шухова
д-р техн. наук, профессор

Н.А. Шаповалов

«27» мая 2014 г.

СПРАВКА

**о внедрение результатов научно-исследовательской работы
в учебный процесс**

Результаты экспериментальных исследований, полученных при выполнении диссертационной работы аспирантом М.В. Малоковой на тему: «Вибропрессованные плиты бетонные тротуарные с полифункциональной матрицей», внедрены в учебный процесс при чтении лекций и выполнении лабораторных работ при подготовке бакалавров, инженеров и магистров по специальности 270106 – Производство строительных материалов, изделий и конструкций. Объем проводимых занятий в учебном году: 6 часов – лекционных и 6 лабораторных занятий.

Зав. кафедрой
строительного материаловедения,
изделий и конструкций,
д-р техн. наук, профессор



В.С. Лесовик

Директор архитектурно-
строительного института
д-р техн. наук, профессор



В.А. Уваров