

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-строительный институт  
*институт*  
Строительные материалы и технологии строительства  
*кафедра*

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Енджиевская И.Г.  
подпись                      инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

08.03.01 «Строительство»

08.03.01.17 «Технолог бетонного производства»

Технологическая линия по производству бетонных элементов  
благоустройства

Руководитель	_____ <u>доцент, канд.техн.наук</u> <i>подпись, дата      должность, ученая степень</i>	<u>И.Г.Енджиевская</u> <i>инициалы, фамилия</i>
Выпускник	_____ <i>подпись, дата</i>	<u>В.В. Андреева</u> <i>инициалы, фамилия</i>
Выпускник	_____ <i>подпись, дата</i>	<u>И.А. Игнатюк</u> <i>инициалы, фамилия</i>

Красноярск 2020

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-строительный институт  
*институт*  
Строительные материалы и технологии строительства  
*кафедра*

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ И.Г. Енджиевская  
*подпись    инициалы, фамилия*

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
**в форме бакалаврской работы**

Студенту Андреевой Валерии Валерьевне, Игнатюк Ирине Анатольевне  
*фамилия, имя, отчество*

Группа СБ16-41БП Направление (специальность) 08.03.01 «Строительство»  
*номер код*

Профиль 08.03.01.17 «Технолог бетонного производства»  
*наименование*

Тема выпускной квалификационной работы: Технологическая линия по производству бетонных элементов благоустройства

Утверждена приказом по университету № 7679/с от 11.06.2020.

Руководитель ВКР И.Г. Енджиевская, к. т. н., доцент кафедры СМиТС ИСИ СФУ

*инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы*

Исходные данные для ВКР бакалавра: разработка составов, технологии, технологической линии по получению вибропрессованных бетонных элементов благоустройства – тротуарной плитки для благоустройства современных городов в условиях Республики Саха (Якутия).

Перечень разделов ВКР бакалавра: Технико-экономическое обоснование, технологическая часть, экология, общие выводы

Перечень графического материала Экспериментальная часть – 5 листов, технология производства – 4 листа

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_   
подпись

Енджиевская И.Г.

инициалы и фамилия

Задание приняли к исполнению

\_\_\_\_\_   
подпись

Андреева В.В.

инициалы и фамилия

Игнатюк И.А.

инициалы и фамилия

« 4 » июня 2020 г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная бакалаврская работа по теме «Технологическая линия по производству бетонных элементов благоустройства» содержит 89 страницы текстового документа, 22 использованных источника, 13 рисунков, 29 таблиц.

Ключевые слова: вибропрессованные изделия, цемент, мелкий песок, отсев дробления, щебень, добавки, жесткость бетонной смеси, плотность, прочность, морозостойкость, истираемость, водопоглощение, технология производства.

Цель исследования – разработка составов, технологии, технологической линии по получению вибропрессованных бетонных элементов благоустройства – тротуарной плитки для благоустройства современных городов в условиях Республики Саха (Якутия).

Аннотация: в данной бакалаврской работе представлены исследования горных пород Республики Саха (Якутия) (химический и гранулометрические составы, физико-механические свойства), разработка составов жестких бетонных смесей для основного и фактурного слоев тротуарной плитки, влияние различных добавок на физико-химические свойства (плотность, прочность, морозостойкость, водопоглощение, истираемость, влажность) бетона и бетонной смеси.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	7
1 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ.....	9
1.1 Перспективы применения тротуарной плитки .....	9
1.2 Современный уровень развития технологии вибропрессования .....	12
1.3 Требования к плитам бетонным тротуарным .....	17
1.4 Требования к лицевой поверхности .....	23
2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	26
2.1 Характеристика материалов.....	26
2.1.1 Цемент Якутский .....	27
2.1.2 Вода .....	28
2.1.3 Мелкий заполнитель.....	29
2.1.4 Крупный заполнитель.....	31
2.1.5 Добавки для бетонов .....	32
2.2 Подбор составов .....	36
2.3 Свойства тротуарных плит.....	38
2.3.1 Прочность.....	38
2.3.2 Водопоглощение .....	41
2.3.3 Истираемость .....	43
3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....	46
3.1 Описание технологии производства бетона.....	46
3.2 Описание технологического процесса вибропрессования .....	49
3.3 Расчет и выбор оборудования.....	59
3.3.1 Дозатор компонентов смеси.....	63
3.3.2 Бетоносмеситель .....	64
3.3.3 Конвейер .....	66
3.3.4 Вибропресс.....	68
3.3.5 Модуль подачи поддонов .....	70
3.3.6 Модуль загрузки смеси .....	72
3.4 Характеристика выпускаемой продукции.....	73
3.5 Маркировка.....	75
3.6 Упаковка .....	75

3.7 Комплектность.....	76
3.8 Правила приемки .....	76
3.9 Транспортирование и хранение .....	80
4 ЭКОЛОГИЯ.....	82
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ .....	88
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	90

## ВВЕДЕНИЕ

В последнее время бетонные тротуарные плитки стали показателями современного уровня качества строительных изделий для благоустройства городской среды и позволяют создавать строительные объекты, соответствующие современным технико-экономическим критериям. В настоящее время технологии позволяют производить элементы благоустройства различных форм, цветов и размеров, которые будут удовлетворять условиям качества, не теряя своей внешней эстетики.

Современное производство тротуарной плитки позволяет добиваться высоких показателей прочности, долговечности, морозостойкости, а так же противоскользких эффектов, которые необходимы в северных регионах страны. С такими задачами хорошо справляется технология полусухого объемного вибропрессования, получившая в последние годы большое распространение. Технология изготовления бетонных элементов благоустройства, заключающаяся в уплотнении полусухих (жестких) бетонных смесей, благодаря воздействию на них вибрации и высокого давления, позволяет создавать широкую номенклатуру продукции, отвечающей современным экономическим и экологическим критериям. Вибропрессованные изделия, как правило, работают в жестких условиях эксплуатации, учитывая большое количество агрессивных воздействующих сред.

Разработка технологической линии по производству бетонных элементов благоустройства производится по заказу производителя в Республике Саха (Якутия). Необычные климатические, грунтовые и экономические условия районов Крайнего Севера и вечномёрзлых грунтов вызывают необходимость разработки для них сооружений с особыми свойствами. Ледяной панцирь в условиях вечной мерзлоты постоянно меняет свою структуру. Рыхлые грунты, нагреваясь от возведенных на них зданий,

теряют свою монолитность, начинают «таять» (до нескольких сантиметров в год) и смещаться. Поэтому необходимо применять сырьевые материалы и технологии, которые гарантировано выдерживают низкие температуры, характерные для региона, обеспечивая долговечность сооружений.

При проектировании составов бетонных смесей должны обеспечиваться повышенные требования по прочности, морозостойкости и водонепроницаемости конструкций, предназначенных для эксплуатации при расчетных температурах до минус 40 °С и ниже, находящихся в условиях постоянного увлажнения, особенно тяжелых температурно-влажностных условиях их работы в пределах сезоннооттаивающего слоя и у поверхности грунта.

К бетонным элементам благоустройства в северных городах предъявляются повышенные требования по прочности, морозостойкости, истираемости, водопоглощению, то есть по свойствам, которые определяют долговечность и надежность бетонов. Поэтому исследования по совершенствованию составов и технологии для обеспечения комплекса этих свойств являются актуальными.

Целью работы является разработка составов, технологии, технологической линии по получению вибропрессованных бетонных элементов благоустройства – тротуарной плитки для благоустройства современных городов в условиях республики Саха (Якутия).

Задачи исследования:

1. Изучение местных строительных материалов для производства вибропрессованных изделий в Республике Саха (Якутия);
2. Подбор состава бетонной смеси для вибропрессованных изделий;
3. Отработка технологии и механического оборудования.



# 1 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

## 1.1 Перспективы применения тротуарной плитки

В настоящее время в развитых зарубежных странах для устройства пешеходных переходов, площадей и других дорожных сооружений используются природный камень и тротуарная плитка на основе цемента, которую уже очень широко начали применять и в нашей стране. Все чаще во дворах, на детских площадках, при устройстве пешеходных зон, а особенно на дачных участках используются элементы мощения из декоративного бетона. Разнообразие конфигураций, различные формы и богатая цветовая гамма делают тротуарные плитки очень популярными (рисунок 1). Высокая морозостойкость и износостойкость обеспечивают многолетний срок службы даже в условиях якутского климата.



Рисунок 1 - Различные виды тротуарной плитки

Тротуарная плитка придает городу или загородному участку цивилизованный и ухоженный вид, замена асфальта на плитку имеет множество преимуществ (рисунок 2). Среди них и простота укладки, и привлекательный внешний вид тротуарной плитки, и отсутствие луж, и долговечность тротуарной плитки по сравнению с другими покрытиями.

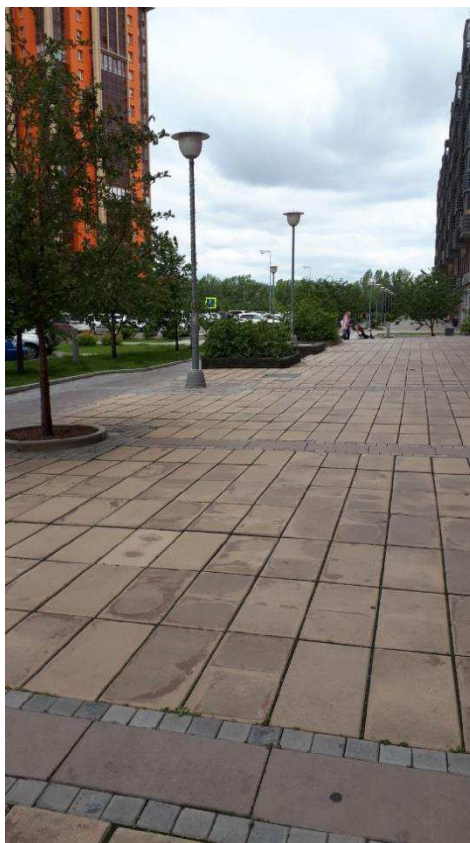


Рисунок 2 - Виды покрытий из тротуарной плитки

Существенным обстоятельством, определяющим перспективу развития цементобетонных тротуаров и переходов, являются ограниченные запасы нефти, как основного источника сырья для производства битумов. Также решающим обстоятельством в пользу расширения в перспективе строительства цементобетонных покрытий служит незаменимость битума при выполнении ремонта практически всех типов покрытий. В отличие от битума, запасы сырья для производства цемента являются практически неограниченными.

Таким образом, тротуарная плитка имеет следующие достоинства:

- 1) Морозостойкость. Способность тротуарной плитки выдерживать очень низкие температуры делают ее практически незаменимой в условиях сурового якутского климата.
- 2) Устойчивость к различным погодным условиям. Тротуарная плитка маловосприимчива к разрушительному воздействию дождя, так как вода стекает вниз между плитками, ветра и открытого солнца.
- 3) Простота в уходе. Тротуарная плитка легко очищается от любых типов загрязнений и нуждается в минимальном уходе.
- 4) Ремонтопригодность. Это качество делает возможным многократное применение тротуарной плитки при повторной прокладке коммуникаций или других ремонтных работах.
- 5) Технологичность строительства. Возможность механизированной укладки плит в покрытие. Производительность укладчика до 800 м<sup>2</sup> в смену.
- 6) Долговечность. Высокая прочность тротуарной плитки, способность выдерживать большие механические нагрузки и ее низкая истираемость значительно продлевают срок ее эксплуатации и позволяют надолго сохранить ее привлекательный внешний вид.
- 7) Экологичность. Бетон, естественные каменные материалы не выделяют в атмосферу вредных веществ. Возможно изготовление плит мощностью с фотокаталитической поверхностью для очистки воздуха от вредных веществ.
- 8) Эстетичность. Применение тротуарных плит разнообразных цветов, форм и различной обработкой лицевой поверхности позволяет производить визуальное зонирование пространства, сформировать определенный зрительный образ городского пространства

- 9) Экономичность. При незначительной разнице в цене, по сравнению с тем же асфальтом, тротуарная плитка требует гораздо меньше затрат на укладку, содержание и уход.
- 10) Водопроницаемость. Покрытия могут быть водопроницаемые или водонепроницаемые. Специальные водопроницаемые (дренирующие) покрытия снижают нагрузку на ливневую систему.
- 11) Несущая способность (восприятие внешних нагрузок). Несущая способность дорожных покрытий из плит мощения не зависит от температуры окружающего воздуха.

К тротуарной плитке, изготавливаемой по ГОСТ 17608-91 "Плиты бетонные тротуарные", предъявляются жесткие требования по морозостойкости (не менее 200 циклов замораживания и оттаивания), прочности (не менее 30 МПа), водопоглощению (не более 6%) и истираемости (не более 0,7 г/см<sup>2</sup>). Поэтому создание материала требуемого качества начинается с подбора необходимых качественных материалов для его изготовления.

## **1.2 Современный уровень развития технологии вибропрессования**

Технология вибропрессованных бетонов для производства элементов благоустройства, в настоящее время получила довольно широкое распространение. Вибропрессованные изделия в отличие от выполненных по литьевой технологии, отличаются повышенной плотностью и прочностью, морозостойкостью, водонепроницаемостью и долговечностью, ускоренным твердением, меньшей усадкой и ползучестью бетона. В последнее время изделия из вибропрессованного бетона стали показателями современного уровня качества строительных изделий для благоустройства городской среды

и позволяют создавать строительные объекты, соответствующие современным технико-экономическим критериям.

Метод высокопроизводителен, допускает высокую степень автоматизации, даёт возможность производить тротуарную плитку с цветным слоем (с добавлением в состав лицевого слоя гранитной и мраморной крошки).

Метод вибролитья имеет меньшую производительность, отсутствует возможность автоматизации. В связи с высоким водоцементным соотношением уменьшается окончательная морозостойкость изделия, её приходится увеличивать дополнительным количеством цемента, дорогими модификаторами и пластификаторами, что значительно увеличивает себестоимость тротуарной плитки.

Вибропрессованная тротуарная плитка имеет шершавую поверхность, и это делает её удобной для мощения городских территорий, полос разгона и торможения транспорта (остановок), складов, терминалов.

Тротуарная плитка, получаемая литьевым методом, имеет гладкую лицевую поверхность, она скользкая, что затрудняет ее использование в странах, где температура опускается ниже 0°C., также она имеет низкую морозостойкость.

Бетон, используемый при вибропрессовании, имеет низкое водоцементное соотношение, что оптимизирует расход цемента и обеспечивает высокую прочность (не менее 30 МПа) и морозостойкость (не менее 200 циклов замораживания и оттаивания). В отличие от литьевой плитки, окраска вибропрессованной тротуарной плитки сохраняет цветовую насыщенность весь срок службы (более 25 лет), а низкое водопоглощение, низкая истираемость предопределяет долговечность.

Гладкая поверхность литьевой плитки разрушается при замерзании воды, часто плитка растрескивается.

Поверхность вибропрессованной плитки можно шлифовать, полировать, бучардировать. Изделия имеют строгую геометрию формы и параллельность

поверхностей. Плитка для мощения, произведенная методом вибролитья не имеет строгой геометрии, что затрудняет ее укладку и ремонт

Таким образом, чтобы получить бетоны повышенной долговечности и прочности, требуется обеспечить высокую плотность и качество цементного камня или твердой фазы, получаемой за счет гидратации цемента совместно с наполнителями структуры, и сохранить резерв непрогидратированного цемента для заживления случайных дефектов, которые возникают при воздействии внешних факторов. Если требуется получение высокопрочных бетонов повышенной долговечности, целесообразно применять цементы с удельной поверхностью 450-600 м<sup>2</sup>/кг в сочетании с добавками, препятствующими агрегации частиц в водной среде и наполнителями, уплотняющими структуру.

Вместе с тем, дальнейшее повышение качества вибропрессованной продукции и совершенствование технологии требуют углубленного сырьевой базы региона и отходов промышленности.

Научно-практической основой исследований послужили результаты, изложенные в работах И Н Ахвердова, Ю М Баженова, П Г Комохова, В В Михайлова, В В Помазкова, И А Рыбьева, В И Соломатова, Е М Чернышова, Е И Шмитько и других ученых о процессах формирования структуры бетона, данные научных разработок ученых в области вибрационного уплотнения бетонных смесей - А.А. Афанасьева, Б.В. Гусева, А.Е. Десова, Г.Я. Кунноса, В.Т. Перцева, И.Ф. Руденко, Б.Г. Скрамтаева, результаты исследований в технологии формования с применением дополнительного прессующего давления (вибропрессования) – Ф.Г. Брауде, В.Г. Довжика, С.А. Осмакова, О.Л. Савинова, В.Н. Шмигальского и других исследователей.

Благодаря современным достижениям в области строительного материаловедения и технологии бетонов, имеется возможность качественно нового рассмотрения основ процесса вибропрессования. В условиях Крайнего Севера проблема благоустройства и экологического баланса имеет ряд

особенностей, заключающихся в значительных масштабах промышленных районов и низкой устойчивости ландшафтов к антропогенным изменениям. Деятельность по благоустройству территорий обусловлена природно-климатическими и территориально-пространственными факторами.

Покрытие из вибропрессованных изделий - плит мощения обладает рядом преимуществ в части ремонтпригодности, экологичности и эстетическим свойствам.

Срок службы дорожных покрытий из плит мощения зависит от используемых материалов, эксплуатационных нагрузок, качества строительства, условий содержания и ремонта.

Таблица 1 – Основные характеристики дорожных покрытий из плит мощения

Характеристики	Описание
Несущая способность (восприятие внешних нагрузок)	Несущая способность дорожных покрытий из плит мощения не зависит от температуры окружающего воздуха.
Технологичность строительства	Имеется возможность механизированной укладки камней/плит в покрытие. Производительность укладчика до 800 м <sup>2</sup> в смену.
Ремонтпригодность	В случае, когда плиты подверглись разрушению их легко заменить. В случае необходимости проведения ремонта подземных коммуникаций, плитку можно легко снять, а затем снова уложить на место, что позволяет экономить значительные средства.
Экологичность	Бетон, естественные каменные материалы не выделяют в атмосферу вредных веществ. Возможно изготовление плит мощения с фотокаталитической поверхностью для очистки воздуха от вредных веществ.

Продолжение таблицы 1

Характеристики	Описание
Эстетический вид	Применение плит мощения разнообразных цветов, форм и различной обработкой лицевой поверхности позволяет производить визуальное зонирование пространства, сформировать определенный зрительный образ городского пространства
Водопроницаемость	Покрытия могут быть водопроницаемые или водонепроницаемые. Специальные водопроницаемые (дренирующие) покрытия снижают нагрузку на ливневую систему.

При выборе того или иного типа дорожного покрытия инженеры-проектировщики должны учитывать их обобщенный технико-экономические показатель. Обобщенный показатель объединяет следующие данные: 1) перспективную грузонапряженность и работу перевозок; 2) транспортные расходы; 3) размер затрат на приобретение подвижного состава; 4) стоимость постройки или реконструкцию дороги; 5) стоимость ремонта и ежегодного содержания дороги, с учетом стоимости капитального ремонта, производимого в течение срока службы дороги; 6) срок службы одежды; 7) размер ежегодной амортизации. Для наглядной оценки экономической эффективности предлагается использовать годовой размер дорожных расходов. Годовой размер дорожных расходов складывается из первоначальных затрат на постройку данного участка дороги, приходящихся на год ее службы, расходов по ежегодному ее содержанию и ремонту и амортизационных отчислений, которые должны быть накоплены к тому году, когда возникает необходимость исправлять дорожное покрытие, и которые были бы достаточны для производства этой работы.



### 1.3 Требования к плитам бетонным тротуарным

Требования к бетонным (искусственным) плитам приведены в ГОСТ 17608 и стандарте Ассоциации производителей вибропрессованных изделий для строительства мощения и благоустройства СТО 58357155-001-2016 “Камни и плиты мощения бетонные вибропрессованные. Технические условия”. Стандарт устанавливает основные характеристики бетонных вибропрессованных изделий, общие технические требования к ним, общие правила приемки, маркировки, транспортирования, хранения и эксплуатации. Стандарт является более подробным и совершенным документом, чем ГОСТ 17608. Поэтому, дальнейшая информация по вибропрессованным плитам приведена из СТО 58357155-001-2016.

#### Классификация и условные обозначения:

а) по назначению изделия подразделяются на классы и подклассы в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – Классы изделий по назначению

Класс	Подкласс	Назначение	Рекомендуемые условия эксплуатации
А	А1	Портовые территории, контейнерные терминалы, аэродромы (рулежные дорожки, перроны, места стоянок воздушных судов)	Сильное водонасыщение с применением антиобледенителей
	А2	Автомобильные дороги, транспортные проезды, автозаправочные станции с повышенной интенсивностью движения	Зоны умеренного водонасыщения с применением антиобледенителей
В	В1	Тротуары городских улиц и дорог, пешеходные площади со средней интенсивностью движения, посадочные площадки общественного транспорта	Умеренное водонасыщение без антиобледенителей

Продолжение таблицы 2

Класс	Подкласс	Назначение	Рекомендуемые условия эксплуатации
	B2	Тротуары во внутриквартальных проездах, Пешеходные площади с малой интенсивностью движения Садово-парковые дорожки, индивидуальные частные участки, эксплуатируемые кровли зданий и сооружений	Слабое водонасыщение без антиобледенителей

б) по технологии производства: однослойные или двухслойные;

в) по виду лицевой поверхности: с гладкой, текстурной (рельефной) или механически обработанной;

г) по форме в плане: квадратные; прямоугольные; шестиугольные; сложной формы (К – квадратные; П – прямоугольные; МФ – мультиформатные; Ш – шестиугольные; Ф – фигурные плиты);

д) по цвету: неокрашенные (серые из обычного бетона); цветные (окрашенные в лицевом слое или объемно окрашенные). Изделия обозначают марками. Марку устанавливает Производитель в своем каталоге продукции. Марка должна включать в себя: форму, размеры, цвет лицевой поверхности, класс изделия.

Основные характеристики:

Физико-механические свойства изделий должны соответствовать показателям, приведенным в таблице 3.

Таблица 3 – Физико-механические свойства изделий

Наименование показателя	Значение показателя для изделий			
	Класс А		Класс В	
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>
	Основные (обязательные)			
Класс бетона по прочности на сжатие, не менее	B35	B30	B25	B22,5

Продолжение таблицы 3

Наименование показателя	Значение показателя для изделий			
	Класс А		Класс В	
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>
	Основные (обязательные)			
Класс бетона по прочности на растяжение при изгибе* , не менее	B <sub>tb4,4</sub>	B <sub>tb4,0</sub>	B <sub>tb3,6</sub>	B <sub>tb3,2</sub>
Марка бетона по морозостойкости, не ниже	F <sub>200</sub>	F <sub>200</sub>	F <sub>100</sub>	F <sub>150</sub>
Истираемость бетона, г/см <sup>2</sup> , не более	0,7 (G1)	0,7 (G1)	0,8 (G2)	0,9 (G3)
Водопоглощение, % по массе, не более	4	5	6	6
	Дополнительные (рекомендуемые)			
Рекомендуемая толщина, мм, не менее	100	80	60	40
Сопротивление удару, см, не менее	100	80	-	-
Сцепление между двумя слоями бетона двухслойных изделий	Отрыв не должен происходить по зоне контакта			
Коэффициент хим. стойкости (маслобензостойкость)	K <sub>ХС</sub> > 0,8	0,5 < K <sub>ХС</sub> < 0,8	-	-
Коэффициент размягчения	0,85	0,8	-	-
Солестойкость %, не более	5	6	8	-

Значение нормируемой отпускной прочности тяжелого бетона от класса бетона по прочности на сжатие и класса бетона по прочности на растяжение при изгибе должно составлять не менее: 70% – в теплый период года; 90% – в холодный период года; то же, для мелкозернистого бетона – 90 % в любое время года.

Фактическая прочность бетона должна соответствовать требуемой по ГОСТ 18105, в зависимости от нормируемой прочности и показателей

фактической однородности прочности бетона. Изделия классов А1 и А2, к которым по условиям эксплуатации предъявляют повышенные требования по коррозионной стойкости, должны быть маслобензостойкими. Изделия классов А1 и А2, к которым по условиям эксплуатации предъявляют особые требования, должны быть антистатичными и (или) безыскровыми. Однослойные изделия, в зависимости от технического задания, допускается производить из тяжелого или мелкозернистого бетона. Для повышения прочности, жесткости и трещиностойкости изделий допускается применять дисперсное армирование синтетическими волокнами.

Значения отклонения фактических размеров изделий от номинальных не должны превышать предельных, указанных в таблице 4.

Таблица 4 – Значения отклонений фактических размеров изделий от номинальных

Наименование отклонения геометрического параметра	Наименование геометрического параметра	Предельное отклонение, мм
Отклонение от линейного размера	Длина	$\pm 3,0$
	Ширина	$\pm 3,0$
	Толщина	$\pm 5,0$
Отклонение от прямолинейности профиля лицевой поверхности	- на заданной длине до 300 мм,	$< 1,0$
	от 300 мм	$< 3,0$
Отклонение от плоскостности поверхности	Плоскостность поверхности	$< 5,0$
Отклонение от перпендикулярности торцевых и смежных им граней: - при толщине до 60 мм - при толщине более 60 мм	Перпендикулярность профиля	$\pm 2,0$
		$\pm 3,0$

Значение нормируемой отпускной прочности тяжелого бетона от класса бетона по прочности на сжатие и класса бетона по прочности на растяжение при изгибе должно составлять не менее: 70% – в теплый период года; 90% – в

холодный период года; то же, для мелкозернистого бетона – 90 % в любое время года.

Фактическая прочность бетона должна соответствовать требуемой по ГОСТ 18105, в зависимости от нормируемой прочности и показателей фактической однородности прочности бетона. Изделия классов А1 и А2, к которым по условиям эксплуатации предъявляют повышенные требования по коррозионной стойкости, должны быть маслобензостойкими. Изделия классов А1 и А2, к которым по условиям эксплуатации предъявляют особые требования, должны быть антистатическими и (или) безыскровыми. Однослойные изделия, в зависимости от технического задания, допускается производить из тяжелого или мелкозернистого бетона. Для повышения прочности, жесткости и трещиностойкости изделий допускается применять дисперсное армирование синтетическими волокнами.

Значения отклонения фактических размеров изделий от номинальных не должны превышать предельных, указанных в таблице 5. Значения действительных отклонений геометрических параметров плит не должны превышать предельных, указанных в таблице 5.

Таблица 5 - Значения предельных отклонений геометрических параметров плит.

Вид отклонения геометрического параметра	Геометрический параметр и его значение, мм	Предельное отклонение для плит бетонных, мм	
		Для дорог	Для тротуаров
Отклонение линейного размера	Длина, ширина до 120 включ.	±3	±2
	Св. 120 до 250	±4	±2
	Св. 250 до 500	±5	±2
	Св. 500 до 1000	±6	±2
	Св. 1000 до 1600	±8	-
	Св. 1600 до 2500	±10	-
	Св. 2500 до 4000	±12	-
	Св. 4000	±15	-

Продолжение таблицы 5

Вид отклонения геометрического параметра	Геометрический параметр и его значение, мм	Предельное отклонение для плит бетонных, мм	
		Для дорог	Для тротуаров
	Толщина	±4	±3
Отклонение от прямолинейности	Прямолинейность профиля лицевой поверхности плиты в любом сечении на всей длине и ширине, мм		
	До 300 включ.	1	1
	Св. 300 до 500	2	2
	Св. 500 до 1000	2,5	2
	Св. 1000 до 1600	3	-
	Св. 1600 до 2500	4	-
	Св. 2500 до 4000	5	-
	Св. 4000	6	-
Отклонение от плоскостности*	До 300 включ	1	1
	Св. 300 до 500	2	2
	Св. 500 до 2500	4	-
	Св. 2500 до 4000	5	-
	Св. 4000	6	-
Отклонение толщины фактурного слоя	Толщина слоя, мм	-1	-1
	До 8 Св. 8	-2	-2

Для конструктивно армированных плит отклонение от толщины защитного слоя бетона должно соответствовать требованиям ГОСТ 13015.

Для благоустройства городской среды как правило применяют плитку бетонную тротуарную класса В<sub>2</sub> - для тротуаров городских улиц и дорог, пешеходных площадей со средней интенсивностью движения, посадочных площадок общественного транспорта. Ее характеристики - класс бетона по прочности на сжатие, не менее В25, по прочности на растяжение при изгибе не менее В<sub>тб</sub>3,6, истираемость не более 0,8 г/см<sup>2</sup> (G2), водопоглощение по массе не более 6%. Необходимо подобрать составы для производства вибропрессованных элементов мощения для возможности производства ее в республике Саха (Якутия) на местных материалах.

## 1.4 Требования к лицевой поверхности

Категория лицевой поверхности по ГОСТ 13015– А6 для двухслойных изделий и А7 – для однослойных изделий. Качество рельефных, шероховатых, зернистых поверхностей, поверхностей с обнажением заполнителей должно соответствовать эталону отделки (в виде поверхности целого изделия или его фрагмента), утвержденному предприятием-изготовителем изделия или согласованному с потребителем. Камни (плиты) мощения с многоцветным фактурным слоем колормикс могут быть одного цвета, смешанных оттенков и с переходом цвета. Количество продукции каждого цвета в пределах транспортного поддона не нормируется.

К договору на поставку цветных изделий по согласованию между заказчиком и производителем могут быть приложены образцы цветов. При производстве возможны отклонения по тону цвета, поэтому при укладке рекомендуется комбинировать изделия из разных транспортных поддонов или партий. Допускается наличие известкового налета (высолов), который является результатом процесса гидратации цемента. Загрязнения в виде жировых и ржавых пятен на лицевой поверхности не допускаются.

Высолы - это образование на поверхности изделий белых налетов (отложений), представляющих собой химические соединения (соли) в виде кристаллов. Нежелательность образований таких налетов связана, прежде всего, с потерей декоративного вида строительных конструкций. Во многих случаях высолы из-за своей рыхлой структуры могут счищаться с поверхности механически или со временем в процессе эксплуатации происходит их растворение и смывание под действием атмосферных осадков или специальными жидкостями - смывками.

Все строительные изделия и конструкции на основе цементных бетонов в какой-то мере склонны к образованию высолов. Этому есть причины, например, химическая природа бетона (цементного камня), в составе которого

имеются соединения, отвечающие за такой процесс, также условия эксплуатации изделий, когда наблюдается миграционные процессы влаги (воды) в структуре изделий. Следует отметить, что в полностью водонасыщенном состоянии на поверхности изделий высолы не формируются, необходим только циклический процесс «увлажнение-высушивание».

Если на поверхностях бетонных тротуарных изделий образуются высолы, то это обуславливается сложными физико-химическими процессами, зависящими от:

- состава и структуры бетона, по крайней мере, от вида и расхода цемента (его минерального и химического состава), от наличия вредных примесей в воде затворения и заполнителях;

- условий хранения и эксплуатации изделий (без защиты от влияния погоды на открытом воздухе), в том числе от механических и атмосферных воздействий.

Высолы можно разделить на две группы химических соединений:

- карбонатно-кальциевые, которые состоят преимущественно из карбоната кальция, образующегося при выносе на поверхность отвердевшего раствора гидроксида кальция и его карбонизации углекислым газом воздуха. В воде данный тип высолов нерастворим.

- сульфатно-натриевые, которые образуются при выносе на поверхность сульфата натрия и кристаллизации в виде кристаллогидрата сульфата натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Этот тип высолов плохо растворяется в холодной воде и хорошо – в горячей.

В действительности, состав высолов более многокомпонентен, из-за различных данных по химическому составу. В высолах чаще всего встречаются также другие соли кальция, соединения серы, калия, железа и т.д.

### Дефекты



В производстве, выпускаемые бетонные тротуарные плитки не всегда могут соответствовать требованиям ГОСТ. Возможны дефекты из-за разных причин. Например:

- недостаточность затраченного времени при уплотнении, из-за этого могут образоваться пустоты, что значительно уменьшит плотность бетона

- применение раствора плохого качества, некачественные сырьевые материалы, слишком крупный щебень или очень мелкий песок плохо повлияют на бетонную смесь.

- использование непригодных форм и смазки для них, что потом на поверхности изделий могут появиться раковины, трещины, сколы, неровная поверхность, шероховатость, неправильные геометрические параметры и т.д.

Вышеперечисленные возможные причины появления дефектов достаточно легко можно устранить, при условии ответственного и внимательного отношения к процессу производства тротуарной плитки:

- выбирать качественные сырьевые материалы, не экономить на них. Хорошо очистить от примесей, избежать наличие красителей и кислот.

- уделять должностное внимание на организации рабочего места, прежде чем приступать к работе, следует очистить и увлажнить бетоносмеситель.

Таким образом, если правильно и ответственно относиться и соблюдать правила организации работ в производстве, то легко можно избежать разных видов дефектов.

## 2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### 2.1 Характеристика материалов

Качество материалов, применяемых для приготовления бетона, должно обеспечивать выполнение технических требований к бетону, установленных настоящим стандартом.

Для приготовления бетонной смеси тротуарных плит применяют бездобавочный портландцемент, содержащий в цементном клинкере не более 5% MgO (оксида магния) и не более 8% С<sub>3</sub>А (трехкальциевого алюмината) и портландцемент с минеральными добавками до 5%, отвечающие ГОСТ 10178.

В качестве мелкого заполнителя применяют природные, обогащенные и фракционированные, а также дробленые обогащенные пески по ГОСТ 8736, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 26633. Для мелкозернистого бетона применяют пески с модулем крупности не менее 2,2, а для тяжелого бетона – не менее 2,0.

В качестве крупного заполнителя применяют щебень из естественного камня, гравия и доменного шлака по ГОСТ 8267, ГОСТ 10260, ГОСТ 3344, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 26633.

При приготовлении бетона плит следует использовать и другие материалы (золу-унос, шлаки и золошлаки смеси ТЭС), отвечающие требованиям ГОСТ 25818 и ГОСТ 25592, откоды производства, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 26633.

Добавки, применяемые для приготовления бетонной смеси, должны удовлетворять требованиям ГОСТ 24211 и ГОСТ 26633. Виды и объем (массу) вводимых добавок определяют опытным путем в зависимости от вида, качества материалов, используемых для приготовления бетонной смеси, технологии изготовления плит, режимов тепловой обработки (тепловлажностойкой обработки).

Вода для приготовления бетона по ГОСТ 23732.

Для подбора составов в лабораторию кафедры СМиТС СФУ доставлены цемент (Якутия), щебень, мелкий заполнитель (природный песок и отсев дробления) и тонкодисперсный отсев при дроблении. Материалы испытаны для определения возможности и применения для производства ВПИ.

### 2.1.1 Цемент Якутский

Портландцемент для изделий классов А и Б – марки не ниже 400 без добавок (ПЦ 400-Д0) или с добавками до 5 % (ПЦ 400-Д5) по ГОСТ 10178, класса не ниже 32,5 (ЦЕМ I 32,5) без добавок или с добавками (ЦЕМ II 32,5) по ГОСТ 31108 (ГОСТ Р 55224); для изделий классов В и Г – марки не ниже 500 без добавок (ПЦ 500-Д0) или на основе клинкера нормированного состава (ПЦ 500- Д0-Н) по ГОСТ 10178, класса не ниже 42,5 (ЦЕМ I 42,5) без добавок по ГОСТ 31108 (ГОСТ Р 55224). В случае если изделия будут использоваться для устройства сборных покрытий автомобильных дорог общего пользования следует применять цемент по ГОСТ 33174 без минеральных добавок с содержанием трехкальциевого алюмината (С3А) в цементном клинкере не более 7 % по массе.

В исследованиях применяли портландцемент Акционерного общества производственного объединения «Якутцемент» класса Цем 1 42,5 Б.

Таблица 6 – Химический состав цемента

Химический состав, %					
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
20,51	4,6	5-5,7	4,15	1,92	3,08

Таблица 7 – Минералогический состав цемента

Минералогический состав, % по массе					
C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	MgO	CaO/SiO <sub>2</sub>
66,99	11,34	5,40	13,0	1,76	3,06

Исследуемые физико-механические свойства цемента представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Физико-механические свойства цемента

Наименование показателя	Результат испытаний
Нормальная густота, %	25,8
Начало схватывания, ч-мин (не ранее 60 мин)	125
Конец схватывания, ч-мин (не нормируется)	198
Равномерность изменения объема	0,3
Прочность на сжатие на 28 сут, МПа (не менее 40 МПа)	49,7
Прочность при изгибе на 28 сут, МПа (не менее 4,5 МПа)	8,6
Удельная поверхность, $\frac{m^2}{kg}$	364
Коэффициент насыщения K <sub>н</sub>	0,87 – 0,95
Силикатный модуль n	1,7 – 2,0
Глиноземный модуль p	0,9 – 1,0
Истинная плотность, $\frac{kg}{m^3}$	3000
Насыпная плотность, $\frac{kg}{m^3}$	1200
Остаток на сите № 0,08	4,3

### 2.1.2 Вода

Для затворения бетонной смеси применяют водопроводную воду, так же возможно применение технической, минерализованной, природной воды с водородным показателем pH >4.

Суммарное содержание сульфатов в воде затворения не должно превышать 3,5% от массы цемента в расчете на SO<sub>3</sub>. Вода для приготовления бетона - согласно ГОСТ 23732.

### 2.1.3 Мелкий заполнитель

В качестве мелкого заполнителя следует использовать песок для строительных работ по ГОСТ 8736 для классов А и Б – песок I и II класса с модулем крупности не менее 2,0; для изделий классов В и Г – песок I класса. Для тяжелого бетона – с модулем крупности не менее 2,0; для мелкозернистого бетона – не менее 2,3. Допускается применение песчано-гравийных смесей и обогащенных песчано-гравийно-щебеночных смесей по ГОСТ 23735, а также отсеков дробления фракции от 2 до 5 мм или от 0 до 5 мм, в которых содержание фракции менее 0,16 мм – не более 5 % г/см<sup>2</sup>.

Допускается применять для улучшения физико-механических и эксплуатационных свойств бетона порошкообразные тонкодисперсные наполнители – золы-уноса по ГОСТ 25818 (модуль основности менее 10 %), микрокремнезем, мраморные, доломитовые пески, известняковую муку.

В исследованиях применяли каменную муку - тонкодисперсный продукт из отсеков дробления щебня и уплотненный микрокремнезем с целью улучшения структуры вибропрессованного бетона, т.к. применяемый отсев дробления имеет повышенный модуль крупности.

Для проведения испытаний были доставлены две пробы природный песок и отсев дробления.

Результаты испытаний пробы природного песка в таблице 9

Таблица 9 – Зерновой состав природного песка

Наименование остатка	Остатки на ситах, % по массе					
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16 (0,14)	Проход через сито с сеткой № 0,16 (0,14)
Частный	0	0,2	0,2	1,3	78,7	787
Полный	0	0,2	0,4	1,7	80,4	

Таблица 10– Результаты испытаний природного песка

Наименование показателей, среднее значение	Значения показателей		
	фактические	требуемые ГОСТ 31424-2010, 26633-2015	
		класс I	класс II
Модуль крупности песка ( $M_k$ ) – группа песка	0,83	Тонкий Св.0,7 до 1,0 Св.10 до 30	Тонкий Св.0,7 до 1,0 (Св.10 до 30) $\pm 5$
Полный остаток на сите №063, %			
Содержание зерен крупностью в % по массе, не более:			
Св. 10 мм	0	0,5	
Св. 5 мм	0	5	0,5
Менее 0,16 мм	80,4	10	10 20
Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе (метод мокрого просеивания)	4,0	Не более 3	Не более 5
Определение содержания глины в комках, % по массе	0	Не более 0,35	Не более 0,5
Определение истинной плотности, г/см <sup>3</sup>	2,68	-	-
Определение насыпной плотности, кг/м <sup>3</sup>	1307	2000 - 2800	

Результаты испытаний – отсева при дроблении представлены в таблицах 11 и 12.

Таблица 11 – Зерновой состав песка – отсева при дроблении

Наименование остатка	Остатки на ситах, % по массе					Проход через сито с сеткой № 0,16 (0,14)
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16 (0,14)	
Частный	25,6	33,0	23,2	11,4	3,8	38
Полный	25,6	58,6	81,8	93,2	97,0	

Таблица 12 – Результаты испытаний песка – отсева при дроблении

Наименование показателей, среднее значение	Значения показателей		
	фактические	требуемые ГОСТ 31424-2010, 26633-2015	
		класс I	класс II
Модуль крупности песка ( $M_k$ ) – группа песка	3,5	Повышенной крупности	Повышенной
Полный остаток на сите №063, %		Св.3,0 до 3,5	Св.3,0 до 3,5
Содержание зерен крупностью в % по массе, не более:		Св.65 до 75	Св.65 до 75
Св. 10 мм		0,5	0,5
Св. 5 мм	4	5	5
Менее 0,16 мм	234		20
	30		10
Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе (метод мокрого просеивания)	4,0	Не более 3	Не более 5
Определение содержания глины в комках, % по массе	0	Не более 0,35	Не более 0,5
Определение истинной плотности, г/см <sup>3</sup>	2,69	-	-
Определение насыпной плотности, кг/м <sup>3</sup>	1367	2000 - 2800	

### 2.1.4 Крупный заполнитель

В качестве крупного заполнителя следует применять щебень по ГОСТ 8267. Наибольший размер зерен заполнителя не должен превышать 10 мм для изделий толщиной до 50 мм и не более 20 мм для изделий толщиной свыше 50 мм. Для изделий классов В и Г – фракционированный щебень из изверженных пород марки по дробимости не ниже 1200, марки по морозостойкости не ниже F300. Мелкий и крупный заполнители должны быть проверены на содержание потенциально реакционно-способных пород. Для высокопрочных бетонов следует применять заполнители неакционно-способные со щелочами цемента. В случае если изделия будут использоваться для устройства сборных покрытий автомобильных дорог общего пользования для приготовления бетонной смеси следует применять крупный заполнитель по ГОСТ 32703.

Анализ крупного заполнителя производится в лабораторных условиях. Результаты испытаний пробы щебня представлены в таблице 12

Таблица 12 – Физико-механические свойства щебня фракций 5-10

Наименование показателей	Наименование НД на метод испытаний	Значение показателя		
		Фактического, параллельно		требуемого ГОСТ
Зерновой состав полные остатки на ситах, %: <b>1,25 D / 12,5</b> <b>D / 10</b> <b>0,5 (D+d) / 7,5</b> <b>d / 5</b> <b>2,5 (1,25)</b>	ГОСТ 8269.0-97, п. 4.3	0,9 54,3 86,0 95,2 100	0 13,7 64,1 98,9 99,7	До 0,5 До 10 От 30 до 60(80*) От 90 до 100 От 95 до 100
Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе	ГОСТ 8269.0-97, п. 4.5	0,22		Не более 1,0
Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы, % по массе	ГОСТ 8269.0-97, п. 4.7	2,5		До 10 включ. 1 группа
Дробимость, Потеря массы при испытании щебня из гравия фр 10-20, % Марка по дробимости	ГОСТ 8269.0-97, п. 4.8	параллельно 6,2 6,8 1420		До 9 включ. 1400
Содержание зерен слабых пород, % по массе	ГОСТ 8269.0-97, п. 4.9	0		Не более 5
Насыпная плотность, $\frac{кг}{м^3}$	ГОСТ 8269.0-97, п. 4.17.1	1523		
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	ГОСТ 8269.0-97, п.4.15.2	2,63		
* По согласованию изготовителя с потребителем допускается изготавливать щебень с полным остатком на сите 0,5 (d + D) от 30 до 80% по массе.				

### 2.1.5 Добавки для бетонов

Вода для приготовления бетонной смеси должна соответствовать ГОСТ 24211-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия». Общее количество химических СТО 58357155-001-2018 13 добавок при их применении для приготовления бетона не должно составлять более 5 % массы цемента. При большем количестве добавок требуется экспериментальное подтверждение коррозионной стойкости бетона.



Для получения цветных изделий применяются пигменты. Пигменты оцениваются по ГОСТ Р 56585-2015 и в соответствии с методами испытаний, указанными в технической документации производителя.

В исследовании применяли химические добавки производства МС-Баухеми для вибропрессованных изделий и минеральные добавки - каменная мука (тонкодисперсный отсев при дроблении щебня) и микрокремнезем МКУ95.

Микрокремнезем – одно из самых известных сегодня пуццолановых веществ, которое активно применяется в строительной индустрии. Это мелкодисперсная пыль серого цвета, обладающая аморфными свойствами. Она извлекается из отходящих газов печей при выплавке металлургического кремния и ферросилиция и используется при производстве строительных и ремонтных смесей, огнеупоров, а также для повышения качества бетонов.

Высокая пуццолановая активность микросилики обусловлена наличием свободных химических связей, сферической формой и размером частиц – в среднем в 500 раз меньше частиц самого цемента.

Включение микрокремнезема в бетонную смесь оказывает влияние на свойства как цементного теста, так и цементного камня. Сферическая форма частиц микрокремнезема приводит к «подшипниковому эффекту», улучшая когезионные свойства цементного теста. Малые размеры частиц позволяют микрокремнезему заполнить объем между грубодисперсными частицами цемента. Высокая удельная площадь поверхности (15-30 м<sup>2</sup>/г) стимулирует образование многочисленных коагуляционных контактов, сокращая объем свободной воды. В результате цементное тесто приобретает высокие когезионные свойства. При этом не наблюдается сегрегация и водоотделение. Бетонная смесь обладает высокой удобоукладываемостью и прокачиваемостью, что особенно важно при высотном строительстве и торкретировании.

Пуццолановая активность микрокремнезема обеспечивает переход нестабильной растворимой гидроокиси кальция в прочный кристаллический

гидрат силиката кальция, который уплотняет структуру бетона и увеличивает прочность на 20-25%.

Цементный камень с добавлением микрокремнезема характеризуется повышенной плотностью, уменьшается его проницаемость. Долговечность бетона растет.

### Murasan BWA 16

Модифицирующая добавка для полусухого вибропрессования.

Характеристики продукта:

1) Повышает «уплотняемость» (способность к уплотнению) жестких бетонных смесей;

2) Обеспечивает эффективное смачивание компонентов при изготовлении бетонной смеси;

3) Повышает морозостойкость бетона;

4) Снижает шелушение поверхности изделий при эксплуатации;

5) Увеличивает плотность и прочность бетона, улучшает динамику набора прочности бетона;

6) Повышает качество лицевой поверхности изделий;

7) Снижает налипание на пуансон;

Области применения

1) Производство изделий дорожной группы - тротуарных плит и бортовых камней;

2) Производство изделий стеновой группы - стеновых и перегородочных блоков;

3) Производство плит перекрытий по поточно-агрегатной и стендовой технологиям.

Рекомендации по применению:

Внедрение добавки на производство необходимо проводить одновременно на всех линиях, в противном случае продукция будет отличаться по оттенку. Нельзя вводить добавку в сухую смесь. В случае

подбора оптимального расхода добавки и воды на торцевой поверхности изделий может наблюдаться тонкая пленка жидкого цементного теста. При применении добавки визуальна консистенция бетонной смеси более жесткая, поэтому контроль жесткости необходимо проводить с применением лабораторного оборудования. При введении добавки в смеси жесткостью менее 5 секунд (подвижность 2-4см) наблюдается снижение плотности изделий. Добавки для полусухого прессования и жестких бетонов улучшают уплотняемость бетонов и уменьшают их склонность к выцветанию.

### Murasan BWA 17

Модифицирующая добавка с гидрофобизирующим эффектом для полусухого вибропрессования.

Характеристики продукта:

- 1) Повышает формуемость, связность и уплотняемость жестких смесей
- 2) Придает бетону изделий гидрофобные свойства
- 3) Облегчает смачивание компонентов бетонной смеси
- 4) Обеспечивает снижение шелушения поверхности
- 5) Увеличение плотности бетона
- 6) Ускорение набора прочности
- 7) Повышение морозостойкости изделий
- 8) Повышение качества лицевой поверхности готовых изделий
- 9) Снижение налипания бетона
- 10) Снижение капиллярного водопоглощения
- 11) Снижение высолообразования
- 12) Повышение качества лицевой поверхности готовых изделий

Области применения:

- 1) Производство тротуарной плитки
- 2) Производство бордюров
- 3) В технологии виброэкструзии

Рекомендации по применению:

Внедрение добавки на производстве необходимо проводить одновременно на всех линиях, в противном случае продукция будет отличаться по оттенку. Нельзя вводить добавку в сухую смесь. В случае подбора оптимального расхода добавки и воды на торцевой поверхности изделий может наблюдаться тонкая пленка жидкого цементного теста. При применении добавки визуальна консистенция бетонной смеси более жесткая, поэтому контроль жесткости необходимо проводить с применением лабораторного оборудования. Применение добавки позволяет исключить необходимость поверхностной гидрофобизации, при этом гидрофобными свойствами будет обладать все изделие, а не только поверхность.

## **2.2 Подбор составов**

С использованием представленных и испытанных материалов был выполнен подбор составов вибропрессованного бетона для плитки тротуарной класса изделий по назначению В<sub>2</sub> - класс бетона В25, требуемая прочность не менее 32 МПа.

В качестве химических добавок использовали Murgasan BWA 17 с гидрофобизатором, чтобы снизить возможность образования высолов. В качестве тонкодисперсных добавок для улучшения структуры использовали микрокремнезем уплотненный МКУ-95 и каменную муку из отсева щебня месторождения Якутия с целью возможности их применения для улучшения структуры смеси, т.к. песок из отсева дробления «колючий» и имеет повышенный модуль крупности. Уплотнение бетонной смеси производили с пригрузом на лабораторной виброплощадке.

Результаты подбора составов для основного и лицевого слоев приведены в таблицах 13 и 14.

Таблица 13 - Подбор составов для основного слоя

Материалы		Состав №1	Состав №2	Состав №3
Цемент Цем 1 42,5 Б Якутия		390	363	363
Каменная мука Якутия		-	27(7%)	-
Микрокремнезем МКУ-95		-	-	27(7%)
Песок Мкр = 3,5		1095	1095	1095
Щебень фр. 5-10 Якутия		750	750	750
Вода		176	178	178
Добавки дозировка	%	0,6	0,55	0,6
	кг	2,3	2,3	2,3
В/Ц		0,45	0,49	0,49
Расчетная плотность, кг/м <sup>3</sup>		2413	2415	2452
Фактическая плотность б.см., кг/м <sup>3</sup>		2425	2428	2413
Прочность 7 сут. НВУ, МПа		48,5	54,2	55,5
Прочность 28 сут. НВУ, МПа		50,2	57,1	59,2
Масса образцов, г		2403	2415	2430
Соответствует классу		В30	В40	В40
Водопоглощение		5,7	5,0	4,9

Таблица 14 - Подбор состава для лицевого слоя

Материалы		Состав №1	Состав №2
Цемент Цем 1 42,5 Б Якутия		390	420
Отсев дробления Мкр=0,83		1552	1523
Вода		146	150
Добавки дозировка	%	0,6	0,6
	кг	2,34	2,52
Расчетная плотность, кг/м <sup>3</sup>		2090	2114
Прочность 7 сут. НВУ, МПа		25,8	27,9
Прочность 28 сут. НВУ, МПа		30,8	32,4
Масса образцов, г		2075	2105

## 2.3 Свойства тротуарных плит

### 2.3.1 Прочность

Образцы бетона хранили в нормально-влажностных условиях до момента испытаний и испытывали в возрасте 7 и 28 суток. На образцах выбирали и отмечали грани, к которым должны быть приложены усилия в процессе нагружения. При этом следует опорные грани образцов-кубов, предназначенных для испытания на сжатие, выбирать так, чтобы сжимающая сила при испытании совпадала с направлением сжимающей силы, действующей при эксплуатации на конструкцию, из которой отработан образец.

#### Аппаратура

Для проведения испытаний применяют:

- разъемные стальные формы с поддоном и без поддона по ГОСТ 22685;
- пресс гидравлический по ГОСТ 28840;
- штангенциркули по ГОСТ 166;
- стержень стальной диаметром 12 мм, длиной 300 мм;
- шпатель

Перед испытанием образцы взвешивали для определения их средней плотности по ГОСТ 12730.1.

Все образцы одной серии должны испытаны в возрасте 7 и 28 суток.

Предел прочности бетона на сжатие вычисляют как среднее арифметическое значение результатов испытаний трех образцов.

В таблице 15 показаны результаты испытаний прочности на сжатие образцов для основного и лицевого слоев

Таблица 15 - Результаты испытаний прочности на сжатие

$R_{сж}$ , МПа	Основной №1 Контрольный	Основной №2 С добавкой каменной муки	Основной №3 С добавкой микрокремнезема	Лицевой №1	Лицевой №2
Прочность 7 сут.	48,5	54,2	55,5	25,8	27,9
Прочность 28 сут.	50,2	57,1	59,2	30,8	32,4

На рисунке 3 представлен график набора прочности для основного слоя контрольного состава с добавкой Murasan BWA 16, состава с добавками Murasan BWA 16 и каменной мукой Якутия и состава с добавками Murasan BWA 16 и микрокремнеземом МКУ-95.

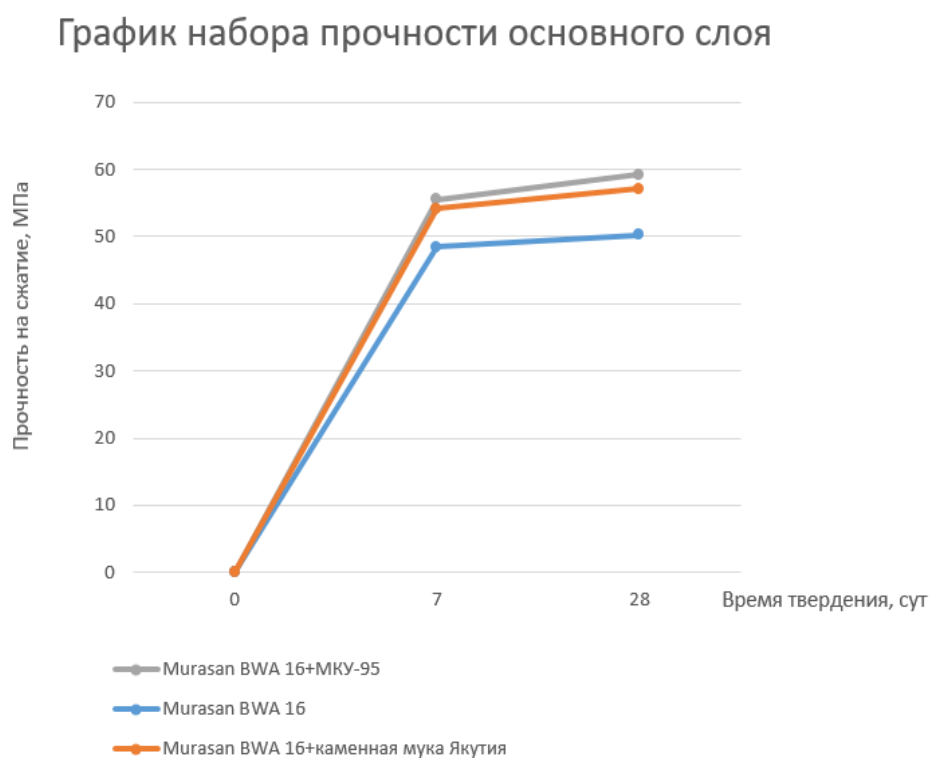


Рисунок 3 – График набора прочности основного слоя

Вывод: По полученным данным можно сделать вывод, что поскольку цемент быстротвердеющий присутствует значительный набор прочности в ранние сроки твердения. У контрольного состава на 7 сутки 150%, на 28 – 156% требуемой прочности. Добавки каменная мука и микрокремнезем МКУ-95, дают значительное повышение прочности за счет уплотнения структуры. С добавкой каменной муки - показатели прочности на 7 сутки – 168%, на 28 – 178%. С добавкой микрокремнезема на 7 сутки – 173%, в проектном возрасте – 184%. Такие результаты позволяют рекомендовать состав с добавкой каменной муки, как местного материала и снизить расход цемента. Рекомендуемый состав основного слоя приведен в таблице 16.

Таблица 16 - Рекомендуемый состав основного слоя:

Материалы		Рекомендуемый состав
Цемент Цем 1 42,5 Б Якутия		355
Каменная мука Якутия		28
Песок Мкр = 3,5		1095
Щебень фр. 5-10 Якутия		755
Вода		178
Добавки дозировка	%	0,55
	кг	2,0
В/Ц		0,49
Расчетная плотность, кг/м <sup>3</sup>		2413

На рисунке 4 представлен график набора прочности для лицевого слоя контрольного состава с добавкой Murasan BWA 17(№1) и контрольного состава с добавкой Murasan BWA 17(№2).



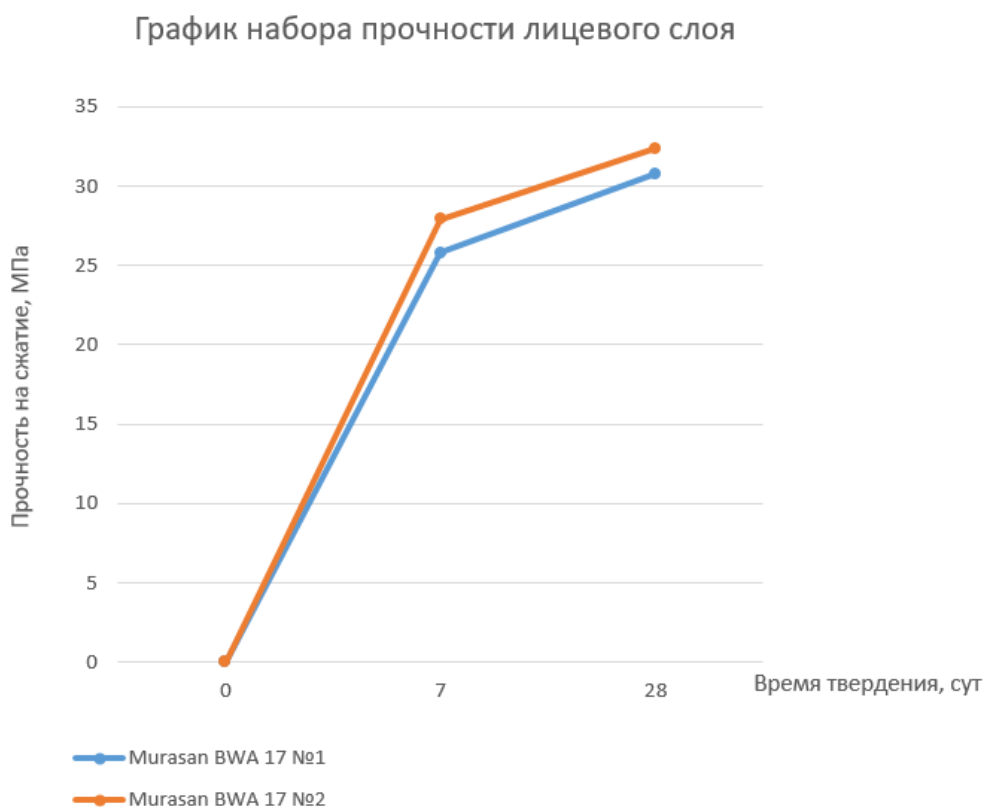


Рисунок 4 – График набора прочности лицевого слоя

Вывод: По полученным данным можно сделать вывод, что у состава №2 для лицевого слоя прочностные показатели больше, чем у состава №1. Полученные смеси обладают повышенной удобоукладываемостью. Для повышения долговечности и снижения водопоглощения применяли добавку Murasan BWA 17 с гидрофобизатором. По характеристикам рекомендуемый состав для лицевого слоя №2.

### 2.3.2 Водопоглощение

#### Аппаратура:

Для проведения испытания применяли:

- весы лабораторные по ГОСТ 24104 или настольные по ГОСТ 29329;
- шкаф сушильный по ОСТ 16.0.801.397\*;
- емкость для насыщения образцов водой;
- проволочную щетку или абразивный камень.

Водопоглощение определяют по методике ГОСТ 12730.0. Испытание образцов проводят взвешиванием в водонасыщенном состоянии и высушенных до постоянной массы. Водопоглощение бетона отдельного образца по массе в процентах определяют с погрешностью до 0,1% по формуле

$$W_{\text{м}} = \frac{m_{\text{с}} - m_{\text{в}}}{m_{\text{с}}} \cdot 100$$

где  $m_{\text{с}}$  - масса высушенного образца, г;

$m_{\text{в}}$  - масса водонасыщенного образца, г.

Водопоглощение бетона серий образцов определяют как среднее арифметическое значение результатов испытаний отдельных образцов в серии.

Результаты испытаний приведены в таблице 17.

Таблица 17 - Результаты испытаний на водопоглощение

Маркировка	Составы	Плотность в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение образцов бетона по массе, %	
			Фактические значения	Среднее значение
Основной слой	№1 - контрольный	2403	5,9 5,9 5,7	5,8
	№2 – с каменной мукой	2415	5,0 5,1 5,4	5,3
	№3 – с микрокремнеземом	2430	5,0 5,1 5,0	5,1
Лицевой слой	№1	2075	6,2 6,2 6,0	6,2
	№2	2105	6,1 5,9 5,9	6,0

Согласно требованиям ГОСТ (таблица 3) для плитки тротуарной класса изделий по назначению В<sub>2</sub> водопоглощение по массе должно быть не более 6%. По результатам испытаний на водопоглощение делаем вывод, что это требование обеспечивается у состава для лицевого слоя - №2, а для основного слоя - все три состава.

### **2.3.3 Истираемость**

#### Аппаратура

Для проведения испытания применяют:

- Круги истирания типов ЛКИ-2, ЛКИ-3
- Весы технические по ГОСТ 24104-2001.
- Штангенциркуль по ГОСТ 166-89.
- Стальные линейки по ГОСТ 427-75.
- Шлифзерно 16 по ГОСТ 3647-80 или нормальный вольский песок по ГОСТ 6139-91.

Для определения истираемости изготавливали по 3 образца-куба с ребром 7,07 мм из составов, подобранных для лицевого слоя. Истираемость определяли в возрасте 28 суток на круге истирания ЛКИ.

Массу образцов и их размеры определяли с погрешностью не более 0,2%.

Истиранию подвергают нижнюю грань образца. Перед испытанием образцы взвешивали и измеряли площадь истираемой грани. Боковые грани образцов-кубов, перпендикулярные истираемой грани, перед испытанием пронумеровали 1, 2, 3, 4 и в последовательности этой нумерации образец поворачивали при проведении испытаний.

Образцы устанавливали в гнездо круга истирания. На истирающий диск равномерным слоем насыпают первую порцию (20±1) г шлифзерна 16 (на первые 30 м пути истирания каждого образца).

Через каждые 30 м пути истирания, пройденного образцами 28 оборотов), истирающий диск останавливали, переворачивая образец в гнезде

на 90° в горизонтальной плоскости (вокруг вертикальной оси). Указанную операцию повторяют пять раз, что составляет один цикл испытаний (150 м пути испытания).

Всего проводят 4 цикла испытаний для каждого образца (общий путь истирания равен 600 м). Образцы взвешивали.

Истираемость бетона в г/см<sup>2</sup>, определяли по формуле

$$G_i = \frac{m_1 - m_2}{F},$$

где  $m_1$  - масса образца до испытания, г;

$m_2$  - масса образца после 4 циклов испытания, г;

F - площадь истираемой грани образца, см<sup>2</sup>.

Истираемость бетона серии образцов определяют с погрешностью до 0,1 г/см как среднее арифметическое значение результатов определения истираемости отдельных образцов серии по формуле

$$\bar{G}_c = \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{n},$$

где n - число образцов в серии.

Средние значения массы трех образцов и результаты испытаний приведены в таблице 18.

Таблица 18 - Результаты испытаний на истираемость

Номер состава лицевого слоя	$m_1$ - масса образца до испытания, г;	$m_2$ - масса образца после 4 циклов испытания, г	F - площадь истираемой грани образца, см	G, г/см <sup>2</sup>
1	715	525	249,9	0,76
2	725	540	249,9	0,74

Согласно требованиям ГОСТ (таблица 3) для плитки тротуарной класса изделий по назначению В<sub>2</sub> истираемость должна быть не более 0,8 г/см<sup>2</sup> (G2). Результаты показали, что у состава №2 истираемость лучше, чем у состава №1. Для бетона класса В<sub>1</sub> подходят оба состава для лицевого слоя.

Вывод:

Подобраны составы бетонов для плит бетонных тротуарных для класса В<sub>1</sub>, изготовленных по технологии вибропрессования. Изучены основные свойства подобранных составов как прочность, водопоглощение и истираемость.

## 3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 3.1 Описание технологии производства бетона

На сегодняшний день существует два способа производства тротуарной плитки: вибропрессование и вибролитье.

При вибролитье жёсткая бетонная смесь укладывается в пластиковую форму. Форма ставится на вибростол (стол с непрерывно вибрирующей поверхностью) и выдерживается на нём некоторое время. После того как бетонная смесь в форме утрамбовалась, форма снимается со стола и выстаивается в НВУ не менее 48 часов, после чего из неё достаётся готовое изделие.

В процессе вибропрессования полусухая бетонная смесь по конвейеру подается в пресс-форму (матрицу), которая находится на столе вибропресса. На смесь сверху начинает давить с вибрацией пуансон (деталь обратная матрице, идеально точно входящая в нее, как поршень в цилиндр) и давит до полного уплотнения смеси. Во время уплотнения смеси пуансоном происходит вибрация стола и если вибраторы установлены на пуансонах, то и вибрация пуансонов. После завершения цикла матрица поднимается вверх, пуансон же только немного приподнимается, полностью выталкивая готовое изделие из матрицы на поддон. Метод очень высокопроизводителен и допускает высокую степень автоматизации.

При гиперпрессовании полусухая бетонная смесь укладывается в прессформу (матрицу), которая стоит на станине. На смесь сверху начинает давить пуансон до полного уплотнения смеси. Пуансон и матрица в этом случае не вибрируют. Уплотнение смеси происходит из-за приложения высокого давления на маленькую площадь изделия. После завершения цикла матрица поднимается вверх, а пуансон совсем немного приподнимается, выталкивая готовое изделие из матрицы на поддон. Метод

высокопроизводителен, допускает высокую степень автоматизации, сокращает необходимость использования большого количества ручного труда.

Тротуарная плитка, произведенная методом вибропрессования из полусухих растворных смесей, при невысокой стоимости и небольших трудозатратах, имеет заметные преимущества перед традиционной заливкой тротуаров асфальтом или мощением тротуарной плиткой, изготовленной методом вибролитья. Подавляющее большинство тротуарной плитки, выпускаемой во всем мире, изготавливается именно по технологии вибропрессования. Все производства мелкоштучных вибропрессованных бетонных изделий можно условно разделить на:

- 1) Приёмка и подготовка сырья;
- 2) Производство бетонной смеси на растворо-бетонном узле;
- 3) Формовка изделий;
- 4) Чистка форм;
- 5) Установка формы на формовочную машину;
- 6) Центрирование пуансонов относительно формы;
- 7) Укладка бетона основного и отделочного слоя;
- 8) Распалубка;
- 9) Тепловлажностная обработка изделий;
- 10) Отбор проб на испытания;
- 11) Формирование изделий в транспортный пакет;
- 12) Горизонтальная и вертикальная обвязка;
- 13) Маркировка;
- 14) Приемка изделий ОТК;
- 15) Вывоз на склад готовой продукции;
- 16) Складирование.

Процесс производства вибропрессованных изделий можно разделить на несколько этапов, включающих в себя:

– приготовление бетонной смеси. В бетоносмеситель заполняется все необходимое сырье, после чего перемешивается до однородного состояния полусухой бетонной смеси.

– формование. После перемешивания смеси бетоносмесителем, смесь транспортируется ленточным конвейером в модуль загрузки смеси. Оттуда ровными порциями полусухая бетонная смесь попадает в матрицы вибростанка, равномерно распределяясь по ней. Далее происходит уплотнение материала, непосредственно под действием виброимпульсов и давлением непрерывно опускающегося пуансона.

– Твердение свежесформованных изделий происходит в пропарочных камерах в течение 8 часов или в естественных условиях, при температуре не менее 10 градусов по Цельсию, что позволит изделию набрать необходимую отпускную прочность.

Линия вибропрессования брусчатки и иных видов тротуарной плитки (например: паркет) позволяет рационально расставить все оборудование, компактной структурой, может применяться не только в стационарном виде, но и в мобильном, работает в автоматическом и полуавтоматическом режиме, благодаря чему проста для проведения техобслуживания, так же линия проста при проведении ремонта всего оборудования в короткие сроки, благодаря чему производство практически всегда находится в исправном состоянии, так же линия обладает надежными характеристиками. Вибропресс – наиболее важное оборудование во всей производственной линии, потому что благодаря ему и происходит процесс вибропрессования. Вибропрессующее оборудование управляется системой PLC (программируемый логический контроллер). Электрические, пневматические и гидравлические элементы линии произведены зарубежными и отечественными производителями, поэтому найти любой элемент легко в каждой точке мира.

Использование вибропресса позволяет на малых площадях организовать выпуск широкого ассортимента изделий (тротуарная плитка, бордюрный



камень, тяжелые блоки и полублоки, поребрики и др.) с применением самых разнообразных инертных материалов: речного песка, щебни, гравия, гранита, мрамора, керамзита, шлака и др. Существуют разные режимы вибропрессования, которые позволяют создавать изделия разных геометрических форм и размеров из самых разных заполнителей и вяжущих материалов, кроме того, добавки для вибропрессованных изделий так же позволяют обойти многие условия, не дающие контрольным образцам выдерживать суровые условия эксплуатации. В данной технологической линии, при прессовании бетонной смеси необходимо соблюдать такие параметры, как амплитуда, давление и продолжительность вибропрессования.

### 3.2 Описание технологического процесса вибропрессования

Функциональная схема тротуарных плит способом вибропрессования представлена на рисунке 5.



Рисунок 5 – Функциональная схема тротуарных плит способом вибропрессования

Силос наполняется цементом, песок, щебень и отсев дробления загружаются бункера для инертных материалов. Поддоны загружаются в накопитель автоматической системы доставки поддонов. Цемент по винтовому конвейеру подается в измеритель цемента, оттуда поступает в смеситель.

В бетоносмеситель загружаются песок и щебень, отмеренные дозатором, а так же цемент и вода с добавкой. В смесителе перемешивается смесь для производства вибропрессованных изделий. По ленточному транспортеру готовая смесь подается в модуль загрузки смеси, установленный непосредственно над вибропрессом. Автоматическая система доставки поддонов доставляет поддон на конвейер поддонов, который передает его на вибростол пресса. На поддон ставится пресс форма (матрица), смесь дозируется мерным ящиком и заполняет форму. После заполнения формы происходит вибропрессование изделий, пластиковый поддон с готовой продукцией попадает на конвейер и очиститель, и конвейером оставляется к автоматическому штабелеру. Штабелер укладывает поддоны с продукцией в несколько ярусов. При наборе необходимого для транспортировки количества поддонов они забираются погрузчиком и отвозятся в камеру тепловлажностной обработки. Дополнительно линию можно укомплектовать оборудованием для производства цветной продукции.

Сам процесс производства вибропрессованных изделий можно разделить на 3 этапа:

Предварительное уплотнение.

Часто совмещается с объемным вибродозированием: матрица наполняется полусухой бетонной смесью под действием вибрации. В этом случае смесь распределяется по всей площади матрицы, воздух практически полностью удаляется и смесь предварительно уплотняется из-за сближения частиц.

Частицы заполнителя, обьятые цементным тестом, в процессе вибрации автоматически занимают оптимальное положение — снижается пустотность смеси из-за разности объема мелкого и крупного заполнителя.

Поскольку в процессе предварительного уплотнения происходит дозирование смеси «на изделие», благоразумно обеспечить равномерность заполнения пресс формы бетонной смесью, для чего практикой вибропрессования разработан ряд приемов:

- вибродозирование. Дозирование смеси производится при включенной виброплощадке, что приводит к частичному удалению воздуха из бетонной смеси и, следовательно, к большей равномерности засыпки;

- мультивибрация. При движении мерного ящика по матрице происходит резкая его остановка в начале и конце движения, что приводит систему в колебания с низкой частотой и большой амплитудой (при вибродозировании высокая частота и низкая амплитуда). Такое движение мерного ящика производится 3–5 раз;

- «заход» мерного ящика. Остановка передней грани мерного ящика происходит за передней гранью матрицы;

- увеличение объема мерного ящика. Объем мерного ящика в 1,5–2 раза превышает объем матрицы вибропресса, что обеспечивает постоянное наличие столба бетонной смеси над матрицей;

- установка «ворошителя». Ворошитель в процессе мультивибрации осуществляет дополнительное направленное перемещения смеси. Конфигурация ворошителя, как правило, зависит от вида формуемого изделия. Перемещение мерного ящика заставляет ворошитель совершать низкочастотные колебания, с одной стороны, препятствующие уплотнению бетонной смеси в мерном ящике, с другой, улучшающие заполнение ячеек матрицы. Ряд зарубежных фирм стал снабжать вибропрессующее оборудование активными (имеющими собственный привод) ворошителями.

Экспериментально подтверждено положительное влияние активного ворошителя на качество заполнения ячеек матрицы, особенно для изделий, включающих высокие тонкие стенки.

К числу мероприятий, обеспечивающих качественное заполнение матрицы вибропресса, также относятся:

- регулирование влажности смеси как фактора, существенно влияющего на ее реологические характеристики;

- тщательное перемешивание смеси, обеспечивающее ее однородность в соответствии со стандартом;

- при габаритных размерах матрицы, в плане близких к квадрату и превышающих 1,0 м, — использование двух бункеров и двух мерных ящиков, засыпающих каждый свою половину матрицы;

- поставка заполнителей и цемента от одного производителя, в том числе песка со стабильным гранулометрическим составом и бездобавочного цемента фиксированной активности с постоянной нормальной плотностью цементного теста.

Все эти проблемы имеют место и в зарубежной практике, хотя и в меньшей степени, в связи с использованием в технологии мытых, сухих, фракционированных заполнителей и чистоклинкерных цементов.

Обычно в цементно-песчаной смеси, поступающей в матрицу, содержится до 60 % воздуха. В результате проведения мероприятий по предварительному уплотнению его количество снижается до 20–25 %, и воздух этот достаточно равномерно распределен по объему смеси.

#### Формообразование.

При правильно подобранном составе бетона, параметрах вибрационных воздействий и величине давления со стороны пуансона обеспечивается разжижение цементного теста, т. е. частицы заполнителя сближаются, вокруг них образуются тонкие структурированные оболочки из цементного теста. В

результате цементно-песчаная смесь приобретает свойства текучести, что обеспечивает практически полное удаление заземленного воздуха.

Эта стадия формования в лучших образцах вибропрессующего оборудования характеризуется пульсирующим характером взаимодействия смеси и пуансона. В процессе вибрации пуансон периодически отрывается от бетонной смеси с последующим ударным воздействием на формируемое изделие.

Суммарное воздействие от пуансона (собственный вес, гидравлическое (пневматическое) давление) и характер вибрационных воздействий назначаются так, чтобы инерционные силы отрыва смогли создать условия пульсирующего режима во взаимодействии «виброплощадка — уплотняемое изделие — пуансон».

Окончательное уплотнение.

Полученное на предварительных этапах уплотнение можно считать близким к требуемому — на этой стадии видимого перемещения пуансона практически не происходит, а осуществляется лишь удаление (частично более равномерное распределение по объему) остатков заземленного воздуха.

Чтобы исключить деструктивные процессы в свежееотформованном изделии и подсос воздуха, на пуансон в этой стадии уплотнения подается добавочное усилие, обеспечивающее замкнутость вибрирующей системы «пуансон — изделие — виброплощадка».

Целесообразно одновременно с увеличением давления повысить частоту колебаний виброплощадки, например, до 100 Гц, что вводит в резонанс мелкие частицы заполнителя, способствуя уплотнению бетонной смеси.

Приведенный выше механизм формования жестких и особо жестких смесей является результатом многолетних исследований и положен в основу алгоритма работы подавляющего большинства зарубежных и отечественных вибропрессов.

Однако вибропрессование в существующих моделях оборудования успешно реализуется при изготовлении конструкций либо имеющих форму толстых плоских пластин, либо изделий, имеющих постоянную высоту и сечение в направлении формования.

При изготовлении конструкций переменной толщины или разновысоких в направлении формования или тонких пластин указанная выше схема формования не обеспечивает качественного уплотнения.

Ухудшение качества уплотнения не только влияет на прочностные характеристики бетона изделий, но и делает плохо предсказуемыми характеристики, зависящие от структуры материала — морозостойкость, водопоглощение, водонепроницаемость.

Ниже приведены способы получения вибропрессованием изделий переменной толщины и изделий фиксированной высоты.

Вибропрессование, как технология в ее классическом варианте, предполагает изготовление изделий постоянной высоты в направлении формования. Обычно это плиты или блоки сплошные либо включающие вертикальные каналы. Эти изделия — классический вариант формования на плоском поддоне.

Получение изделий переменной толщины на поддонах сложной конфигурации, как правило, признается нецелесообразным из-за чрезмерно высокой их стоимости, которая и при плоских поддонах близка к стоимости формовочного оборудования.

Придание изделию иной конфигурации с помощью пуансона гораздо более широко используемый прием.

Так изготавливаются лотки, желоба, крышки колодцев, камни накрывные для цоколей и др.

Однако практика формования изделий переменной толщины способами, применяемыми для изделий постоянной толщины, приводят к недоуплотнению в них отдельных участков. Действительно, при формовании

на плоском поддоне мерный ящик смесью постоянной высоты заполняет весь объем матрицы. В результате под фигурным пуансоном уплотняется только самый тонкий участок изделия. При формировании «разновысоких» изделий из смесей с высокой удобоукладываемостью последняя перемещается под пригрузом, а в жестких, особо и сверхжестких смесях этого не происходит, поэтому изделие оказывается неуплотненным.

Разработан технологический прием, включающий дополнительную операцию перед вибропрессованием: после засыпки бетонной смеси мерным ящиком при непрерывающихся вибрационных воздействиях смесь пригружают пуансоном усилием, составляющим ~20 % усилия формирования. Таким образом, бетонная смесь, перемещаясь под воздействием вибрации в замкнутом пространстве, приобретает в верхней ее части форму, соответствующую конфигурации пуансона.

Следующий этап формирования — традиционное вибропрессование, однако уплотнение в изделии, содержащем участки разной высоты, в этом случае будет более качественным.

Многолетний опыт работы с особо и сверхжесткими бетонными смесями, формуемыми с использованием методов интенсивного уплотнения показал, что при  $K_u$  0,97 получается качественный бетон с высокими физико-механическими характеристиками, и что получение более высокого  $K_u$ , как правило, не оправдано экономически из-за увеличения затрат на уплотнение бетонных смесей и снижения производительности оборудования.

Таким образом, несмотря на сложившуюся практику, становится очевидной недопустимость недоуплотнения бетона в изделиях с невысокой прочностью, например, в стеновых блоках.

Другой путь получения требуемого уплотнения в изделиях переменной толщины — увеличение удобоукладываемости смеси до уровня, позволяющего на конкретном оборудовании вибрационными воздействиями на бетонную смесь перевести ее в вибросжиженное состояние. Это обеспечит

свободное ее перемещение в матрице, причем давление от пуансона не должно этому препятствовать.

Однако при повышении удобоукладываемости бетонной смеси в процессе уплотнения появляется цементное молоко на поверхности свежесформованного изделия. Цементное молоко может появиться также в результате некачественного перемешивания, когда отдельные объемы смеси имеют повышенное водосодержание либо от неравномерности амплитудного поля виброплощадки или пуансона. Тогда цементное молоко может выступать не по всей поверхности формируемого изделия, а в отдельных его точках. В результате бетонная смесь прилипает к пуансону, образуя после его подъема вырывы на поверхности изделий.

При повышении удобоукладываемости смеси до уровня, приводящего к появлению цементного молока на всей поверхности формирования, происходит прилипание изделия к пуансону, причем ван-дер-ваальсовыи силы сцепления так велики, что свежесформованное изделие, даже освобожденное от матрицы, поднимается вместе с пуансоном при его возвращении в исходное положение.

Технические решения, исключающие прилипание к пуансону, были получены при разработке технологии вибропрессования цементно-песчаной черепицы — тонкой пластины переменной (10–25 мм) толщины.

Размещение полимерной пленки между изделием и пуансоном полностью исключило прилипание, формируемая поверхность получалась идеально гладкой. Разработан механизм непрерывной протяжки пленки после каждого формирования.

Еще более качественный результат был достигнут при формировании черепицы нагретым до 110–120 °С пуансоном. В этом случае между ним и формируемым изделием образовывалась паровая прослойка. В результате черепица не прилипала к пуансону, а ее поверхность после формирования была зеркальной. Кроме того, черепица после вибропрессования оказывалась



горячей. Было показано, что аккумулированного изделием тепла достаточно для прохождения смесью периода структурообразования, что соответствует времени предварительной выдержки в режиме тепловлажностной обработки.

Не менее важным является разработка способа получения вибропрессованием изделий фиксированной высоты и, в первую очередь, стеновых блоков — одной из наиболее массовых конструкций, выпускаемых по технологии вибропрессования.

Калибровка блоков по высоте позволяет не только применить схему кладки «на клей», но и улучшить теплозащитные свойства стен за счет исключения горизонтальных мостиков холода.

Схема уплотнения цементно-песчаных смесей в технологии вибропрессования предусматривает опускание жестко связанных между собой элементов пуансона в ячейки матрицы, что предполагает равномерную засыпку бетонной смеси в каждую из ячеек.

Засыпка смеси в матрицу производится мерным ящиком, т. е. производится объемная дозировка смеси, причем в худшем ее варианте. В результате, даже при реализации мероприятий по улучшению засыпки, как правило, количество смеси в каждой ячейке оказывается различным и, следовательно, по-разному уплотненным. В действительности только одно из изделий либо одна из стенок изделия, оказываются качественно уплотненными, все остальные — в той или иной мере недоуплотнены.

Какова мера этого недоуплотнения, и насколько это значимо для свойств бетона? Каждый процент недоуплотнения приводит к снижению прочности на 5–7 %. В целом эту оценку можно считать правильной. Однако это интегральная оценка. Суть недоуплотнения — это несформированная структура бетона: наличие неудаленного из бетонного изделия стихийно расположенного воздуха. Этот воздух может оказаться, например, в зоне главных растягивающих напряжений, и тогда речь уже идет не о процентах снижения прочности — разрушающаяся нагрузка может уменьшиться в

несколько раз. Воздух может оказаться близко от граней изделия (так часто бывает при изготовлении тротуарных плит), и тогда эти грани раскрашиваются, обламываются уже в процессе транспортных операций или пакетировки, что ухудшает долговечность и товарный вид изделий.

Но это еще не самый худший результат недоуплотнения. Для изделий, к которым предъявляются требования по морозостойкости, наличие в них каверн «неорганизованного» воздуха приводит к заполнению их водой. Замерзание–оттаивание этой воды разрушает изделия в течение 1–2 сезонов.

Анализ практики изготовления мелкоштучных бетонных изделий показывает, что достаточным (в том числе и по долговечности) является коэффициент уплотнения  $K_u = 0,97$ , т. е. в свежесформованном бетоне допускается наличие около 3 % воздушной фазы. Точность дозировки цементно-песчаной смеси на изделие оценивается в 4–6 %, т. е. суммарный объем воздушной фазы может достигать 9 %. Это также означает появление в параллельных формовках разновысоких изделий, что недопустимо, в первую очередь, для стеновых и отделочных материалов.

В практике вибропрессования для получения изделий постоянной высоты используется прием остановки пуансона вибропресса на фиксированной высоте. Это может быть механическая фиксация — упор либо движение пуансона прекращается под влиянием сигнала от датчика положения.

Очевидно, что при этом недоуплотняются все изделия. Выходом из противоречия является предлагаемый способ использования бетонов с воздухововлечением. Существо способа во введении в бетонную смесь воздухововлекающей добавки в количестве, обеспечивающем до 10 % воздухововлечения.

При вибропрессовании изделий с фиксированной высотой опускания пуансона это будет означать, что вовлеченный воздух в разном количестве будет в каждом изделии. Однако этот воздух уже оказывается не случайно

размещенным в виде крупных пор, а равномерно распределенным по массе в виде мелких пор воздухововлечения по всему объему изделия. Известно, что такой воздух для бетонов, изготовленных из особо жестких цементно-песчаных смесей, в количестве 5–6 % практически не снижает несущей способности изделий, значительно увеличивая их морозостойкость.

Кроме того, воздухововлечение пластифицирует бетонную смесь, и, с учетом этого обстоятельства, прочность бетона может даже вырасти.

Таким образом, механизмом реализации способа формования изделий калиброванной высоты является использование в особо жестких бетонных смесях слитной структуры (т. е. при избытке цементного теста) воздухововлекающей добавки, обеспечивающей воздухововлечение до 10 % и фиксация пуансона вибропресса на уровне требуемой стандартом высоты изделия.

Тогда при правильно подобранном составе бетона одно из уплотняемых изделий будет иметь  $K_u = 0,97$ , а остальные  $K_u = 0,97–0,93$ , причем разброс прочностных характеристик бетона не будет превышать нормативных требований.

### 3.3 Расчет и выбор оборудования

Подбор оборудования производится по значениям показателей производительности:

$$P_{\text{ч}} = P_{\text{год}}/T_{\text{г}};$$

где  $P_{\text{год}}$  – годовая производительность цеха, м<sup>2</sup>/год;

$T_{\text{г}}$  – годовой фонд рабочего времени, ч.

$$T_{\text{г}} = (275 - T_{\text{в}} - T_{\text{п}}) \cdot t_{\text{см}} \cdot n \cdot k_{\text{н}};$$

где  $T_{\text{в}}$  - число выходных и праздничных дней в году;

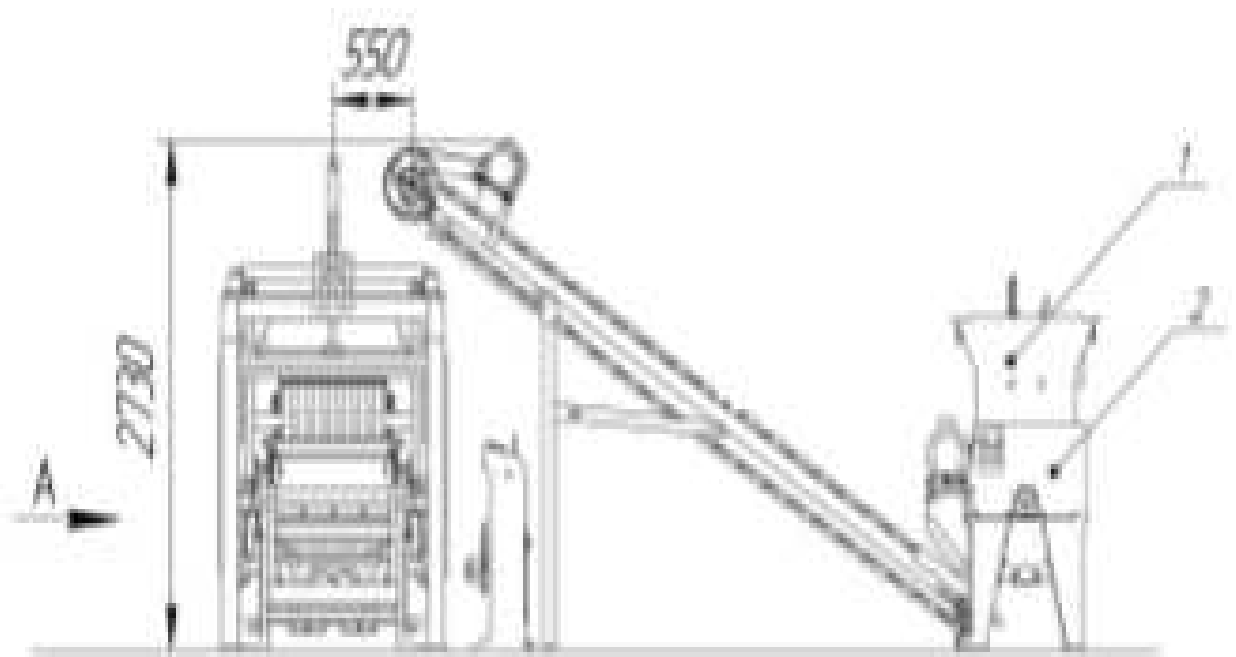
$T_T$  – простои (в днях) во всех видах технического обслуживания и ремонта;  
 $T_{см}$  – продолжительность смены в часах;  
 $n$  – коэффициент сменности;  
 $k_n$  – коэффициент, учитывающий перерыв в работе по непредвиденным причинам.

$$T_T = (275 - 85 - 5) \cdot 8 \cdot 1 \cdot 0,85 = 1184 \text{ ч.}$$

Часовая производительность завода, м<sup>2</sup>/ч:

$$Пч = 30000/1184 = 23,8.$$

На основе полученных данных выбираем линию для изготовления строительных изделий (рисунок 6).



1 – дозатор компонентов смеси, 2 – смеситель, 3 – конвейер ленточный, 4 – модуль загрузки смеси, 5 – вибропресс, 6 – поддон, 7 – модуль подачи поддонов, 8 – стеллаж, 9 – пульт управления, 10 – установка насосная

Рисунок 6 – Общая компоновка комплекса, лист 1

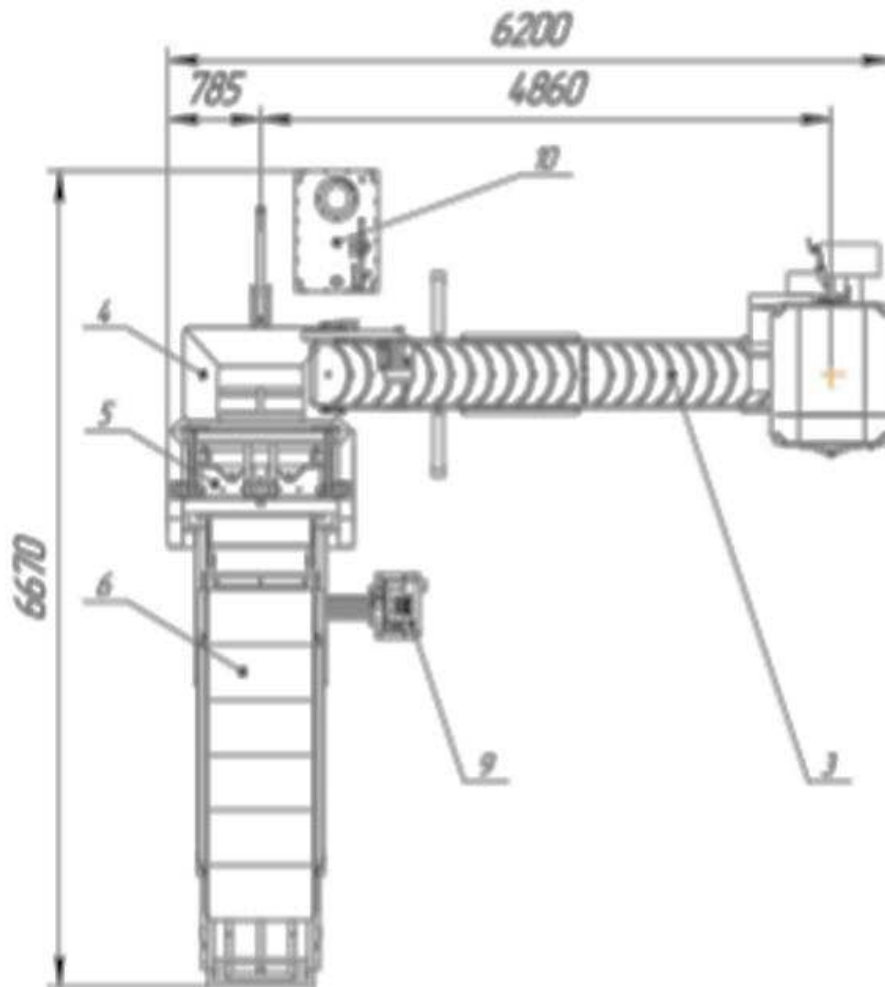


Рисунок 7 - Общая компоновка комплекса – вид сверху, лист 2

Функционально вся линия состоит из следующих частей:

- 1) Дозатор компонентов смеси. Предназначен для дозирования заполнителя, цемента и воды.
- 2) Смеситель. Предназначен для смешивания компонентов смеси.
- 3) Конвейер ленточный. Предназначен для подачи готовой бетонной смеси в модуль загрузки смеси.
- 4) Модуль загрузки смеси. Предназначен для подачи бетонной смеси в матрицу вибропресса.
- 5) Вибропресс. Предназначен для формирования бетонных изделий на поддоне.

- 6) Поддоны. Предназначены для формования и транспортирования бетонных изделий
- 7) Модуль подачи поддонов. Предназначен для смены поддонов в вибропрессе.
- 8) Стеллаж. Предназначен для накопления поддонов с готовыми бетонными изделиями и транспортирования их в пропарочную камеру.
- 9) Пульт управления. Предназначен для управления работой модуля загрузки смеси, вибропресса, модуля подачи поддонов и установки насосной.
- 10) Установка насосная. Предназначена для подачи масла под давлением в гидросистему линии.

Технические характеристики линии представлены в таблице 19.

Таблица 19 - Техническая характеристика линии

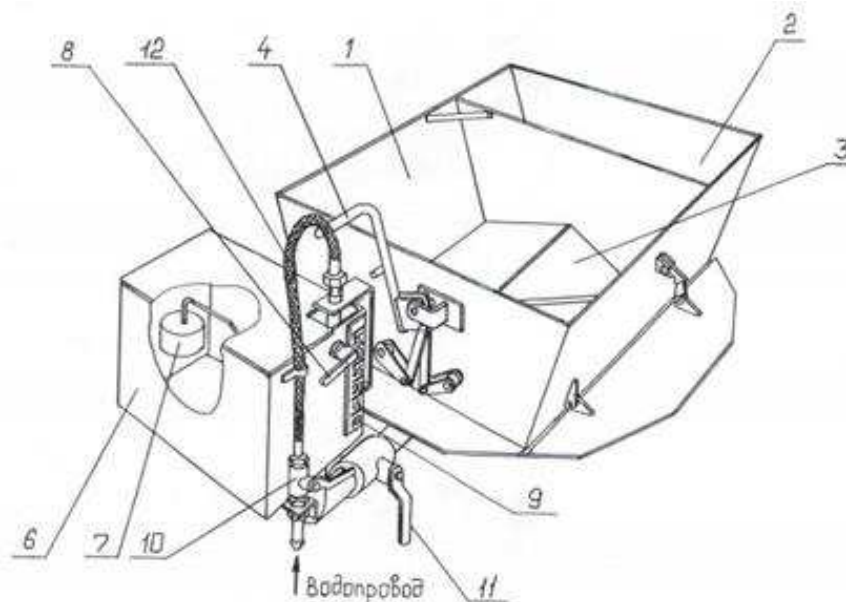
Наименование показателя	Показатель
Продолжительность одного цикла формования, сек	30-40
Высота формуемых изделий, мм	50-230
Производительность комплекса* при изготовлении, шт./час:	
камней пустотелых 390x190x188 мм	340
камней перегородочных 120мм	510
камней бортовых БР 780.30.15	72
плитки тротуарной “прямоугольная”, 200x100 мм	1400(28)
Размеры поддона для формования, мм	900x450
Размеры зоны формования на поддоне, мм	800x400
Обслуживающий персонал, чел	3-4
Потребляемая электроэнергия:	
напряжение, В	380
частота, Гц	50
установленная мощность, кВт	23,5
Расход воды, л/мин, не менее	20

Продолжение таблицы 19

Наименование показателя	Показатель
Габаритные размеры комплекса, мм: длина ширина высота	6670 6200 2730
Масса комплекса, кг	4200
Корректированный уровень звуковой мощности на рабочем месте оператора, дБ менее	80
Уровень общей вибрации на рабочем месте оператора	менее 1/2 сан. норм
Вредные выбросы	отсутствуют

### 3.3.1 Дозатор компонентов смеси

Дозатор (рисунок 8) выполнен в виде сварной емкости, разделенной перегородкой на отсек заполнителя и отсек цемента.



1 – отсек заполнителя; 2 – отсек вяжущего; 3 – заслонка; 4 – рукоятка;  
6 – водяной бак; 7 – поплавковый клапан; 8 – вороток; 9 – шкала; 10 – кран впускной; 11 –  
кран выпускной; 12 – гибкий рукав

Рисунок 8 – Дозатор весовой

Днище отсеков – это поворотные заслонки, открывающиеся через систему рычагов при повороте рукоятки. Уровень засыпаемых компонентов в отсеки контролируется визуально.

Дозировка воды осуществляется с помощью бака, в котором установлен подвижный поплавковый клапан, фиксируемый воротком 8 и отсекающий заданную по шкале дозу воды, которая подается через шаровой кран от водопроводной сети. Слив дозы воды в смеситель производится посредством шарового крана, при этом кран должен быть закрыт. Подвижный поплавковый клапан соединяется с шаровым краном посредством гибкого рукава.

Техническая характеристика дозатора представлена в таблице 20.

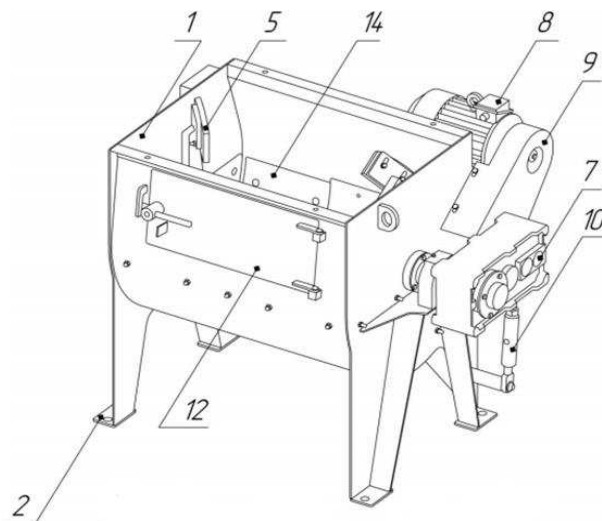
Таблица 20 – Техническая характеристика дозатора

Наименование показателя	Показатель
Объемы дозирования за один цикл, л: вяжущее, до заполнители, до	60 240
вода, до	40
Расход воды, л/мин, не менее	20
Привод открывания емкостей дозатора	ручной
Габаритные размеры, мм: длина ширина высота	1600 1400 520
Масса, кг	160

### 3.3.2 Бетоносмеситель

Смеситель (рисунок 9) представляет собой смесительную камеру на опорах, внутри которой расположен горизонтальный ротор. Ротор вращается на подшипниковых опорах. Для перемешивания компонентов смеси на роторе закреплены при помощи водилскребки и лопатки, изготовленные из специального износостойкого чугуна. Ротор приводится во вращение посредством редуктора, электродвигателя и клиноременной передачи. Натяжение клиноременной передачи осуществляется талрепом.





1 -смесительная камера; 2 -опоры смесителя; 3 -ротор; 4 –опора подшипниковая; 5 -скребок; 6 -лопатка; 7 -редуктор; 8 -электродвигатель; 9 –клиноременная передача; 10 –талреп; 11-разгрузочный люк; 12 -дверца; 13 –дополнительный лючок; 14 –сменные защитные элементы дна; 15 –сменные защитные элементы стенок; 16 –пульт управления смесителем и транспортером.

Рисунок 9 – Бетоносмеситель СГ-350

Для выгрузки готовой смеси смеситель имеет разгрузочный люк. Дверца предназначена для очистки смесителя в конце смены или для выгрузки смеси при аварийной ситуации. Лючок служит также для очистки смесителя при необходимости слива отработанной воды.

Днище и стенки смесительной камеры предохраняются от износа сменными защитными элементами, изготовленными из износостойкой стали.

На корпусе смесителя закреплен пульт управления смесителем и транспортером.

Техническая характеристика бетоносмесителя представлена в таблице 21.

Таблица 21 – Техническая характеристика бетоносмесителя

Наименование показателя	Показатель
Рабочий объем камеры, м <sup>3</sup>	0,35
Тип электродвигателя	4A132S4Y3
Номинальная мощность электродвигателя, кВт	7,5
Частота вращения вала электродвигателя, об/мин	1500

## Продолжение 21

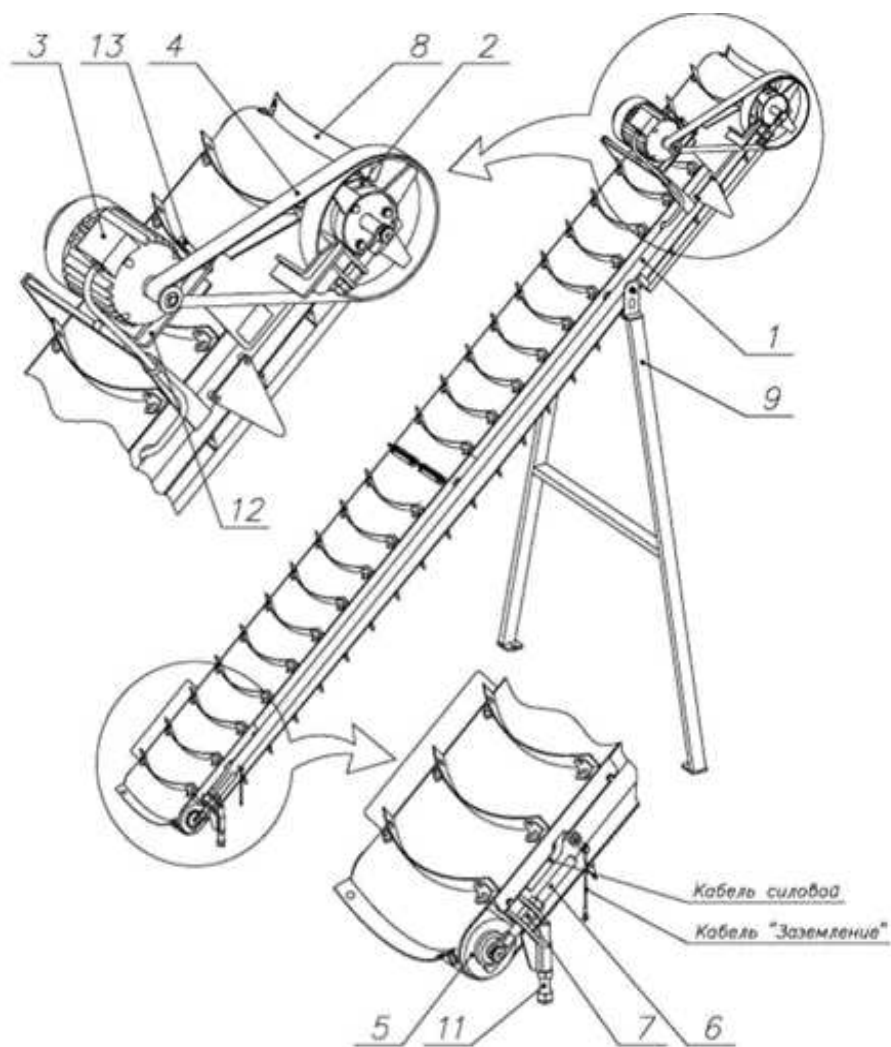
Наименование показателя	Показатель
Частота вращения ротора, об/мин	32
Минимальное время перемешивания, мин	2
Габаритные размеры, мм: длина	1510
ширина	1125
высота	1235
Масса, кг	900

### 3.3.3 Конвейер

Конвейер (рисунок 10) представляет собой сварную раму, на верхнем конце которой расположен ведущий барабан, приводимый в движение электродвигателем через поликлиновую ременную передачу. На нижнем конце рамы расположен ведомый барабан, ось которого опирается на винты,двигающиеся при вращении гаек.

Барабаны огибает конвейерная лента, опирающаяся на плоский стальной настил рамы. В рабочем положении транспортёр опирается на стойку и нижней частью на винтовые опоры.

Электродвигатель закреплен на плите, имеющей возможность поворота, при вращении винта, для натяжки ременной передачи.



1 — рама; 2 — барабан ведущий; 3 — электродвигатель; 4 — ременная передача; 5 — барабан ведомый; 6 — винт; 7 — гайка; 8 — лента; 9 — стойка; 11 — винт опорный; 12 — плита; 13 — винт натяжной

Рисунок 10 – Конвейер ленточный

Электродвигатель соединен кабелем с электрошкафом смесителя. Включение и выключение двигателя производится с помощью соответствующих кнопок на пульте управления смесителя. Подключение производить согласно схеме электрической принципиальной и электрической подключений.

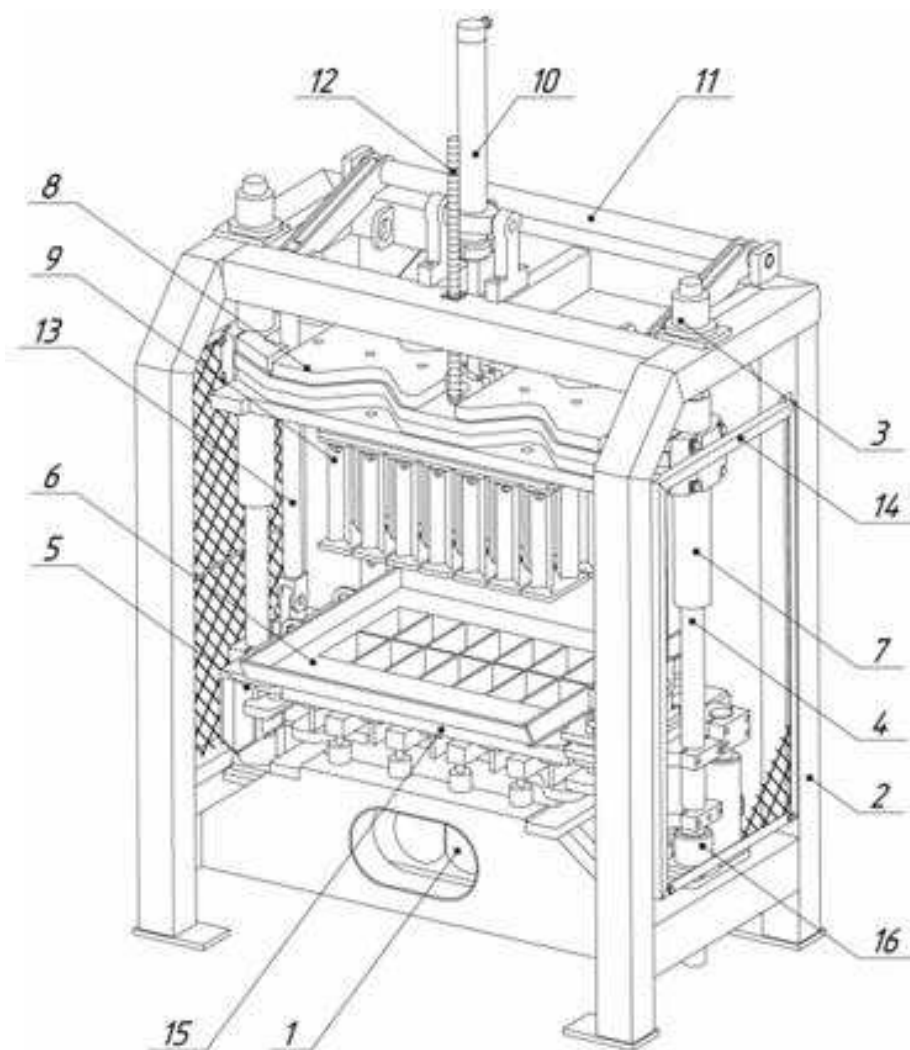
Техническая характеристика конвейера ленточного представлена в таблице 22.

Таблица 22 – Техническая характеристика конвейера ленточного

Наименование показателя	Показатель
Производительность, м <sup>3</sup> /час	60
Скорость движения ленты, м/сек	1,1
Частота вращения ведущего барабана, об/мин	127
Угол подъема конвейера, град	45
Номинальная мощность электродвигателя, кВт	3,0
Частота вращения вала электродвигателя, об/мин	950
Ширина ленты, мм	500
Габаритные размеры, мм: длина ширина высота (в транспортном положении)	5000 750 790
Масса, кг	310

### 3.3.4 Вибропресс

Вибропресс (рисунок 11) состоит из вибростола, смонтированного на станине через виброизолирующие подушки. На станине установлены верхние и нижние опоры скольжения с перемещающимися в них направляющими. На направляющих жёстко закреплёны кронштейны матрицы со сменной матрицей. Плита пуансона с закрепленными к ней гильзами и сменным пуансоном, имеют возможность перемещения по направляющим с помощью гидроцилиндра, шток которого шарнирно связан с плитой пуансона, а корпус гидроцилиндра закреплен на станине. На станине закреплены также гидроцилиндры матрицы, которые перемещают кронштейны матрицы с матрицей в вертикальном направлении относительно вибростола. С помощью гидроцилиндров матрицы между вибростолом и матрицей на время формования изделий зажимается поддон.



1 – вибростол; 2 – станина; 3 – верхние опоры скольжения; 4 – направляющие; 5 – кронштейн матрицы; 6 – сменная матрица; 7 – гильза плиты пуансона; 8 – плита пуансона; 9 – сменный пуансон; 10 – гидроцилиндр пуансона; 11 – синхронизатор матрицы; 12 – упор плиты пуансона; 13 – тяга матрицы; 14 – ограждение; 15 – поддон; 16 – нижние опоры скольжения; 17 – гидроцилиндр матрицы; 18 – электродвигатель; 19 – узел опорный; 20 – ремень поликлиновый; 21 – кронштейны крепления модуля загрузки смеси; 22 – проушина грузовая

Рисунок 11 – Вибропресс

В верхней части станины установлен синхронизатор матрицы, соединенный с помощью тяг с кронштейнами матрицы. Синхронизатор исключает перекос матрицы при ее вертикальных перемещениях.

В вибростоле имеются валы - дебалансы, которые вращаются электродвигателем через ременную передачу и узел опорный. Натяжение ремня осуществляется автоматически. Для защиты от движущихся частей вибропресса предусмотрено ограждение. Кронштейны предназначены для

крепления к станине вибропресса модуля загрузки смеси. Для контроля высоты изделия на станине установлен индуктивный выключатель с возможностью вертикального перемещения.

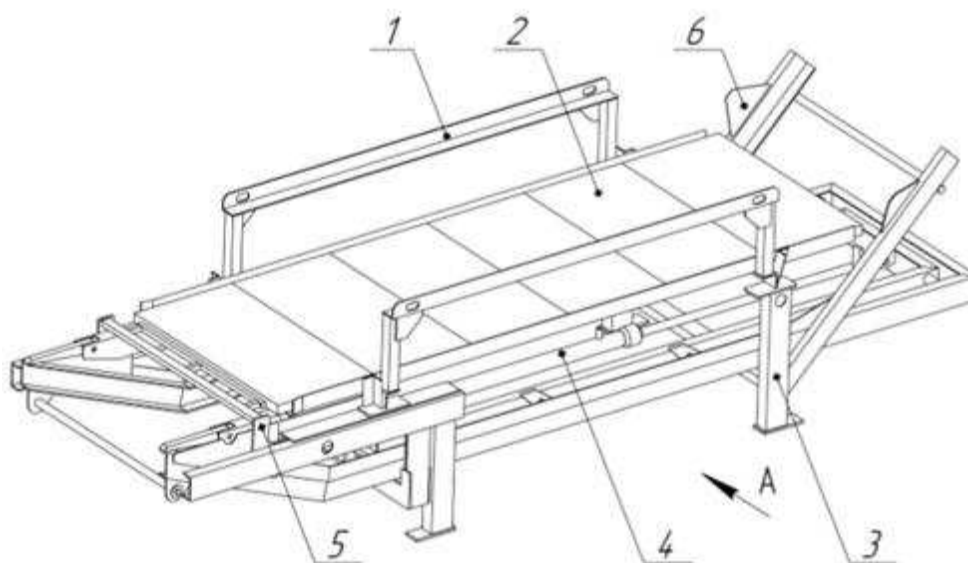
Технические характеристики вибропресса представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Технические характеристики вибропресса

Наименование показателя	Показатель
Зона формования изделий, мм	800 x 400
Высота формуемых изделий, мм	50...230
Привод механизмов	гидравлический
Привод вибростола	электрический
Тип электродвигателя	АИР 100L2 У3
Номинальная мощность электродвигателя, кВт	5,5
Частота вращения вала электродвигателя, об/мин	3000
Габаритные размеры, мм	
длина	1610
ширина	1245
высота	2600
Масса, кг	2000

### 3.3.5 Модуль подачи поддонов

Модуль подачи поддонов (рисунок 12) обеспечивает смену поддонов на позиции формования вибропресса. Особенностью конструкции является то, что поддоны, однажды установленные на стеллажи, не требуют в дальнейшем перестановок.



1 – стеллаж; 2 – поддон; 3 – станина; 4 – гидроцилиндр; 5 – тележка; 6 – направляющие  
 Рисунок 12 – Модуль подачи поддонов

Стеллаж с шестью пустыми поддонами с помощью грузоподъемного устройства устанавливается на ловители рамы модуля подачи. При движении тележки от вибропресса поддоны с готовой продукцией сдвигаются на стеллаж на одну позицию, при этом крайний пустой поддон со стеллажа скатывается по направляющим рамы на нижний уровень. С нижнего уровня при возврате тележки к вибропрессу поддоны с помощью шатуна по наклонным ползьям попадают на стол вибропресса. Привод тележки осуществляется гидроцилиндром. За один такт (ход гидроцилиндра вперед-назад) поддоны перемещаются на одну позицию в замкнутом круговом цикле. После того как стеллаж заполнится поддонами с изделиями, с помощью грузоподъемного устройства он снимается и на его место устанавливается стеллаж с пустыми поддонами. По завершению цикла пропарки изделия снимаются с поддонов, которые остаются на своих местах на стеллаже.

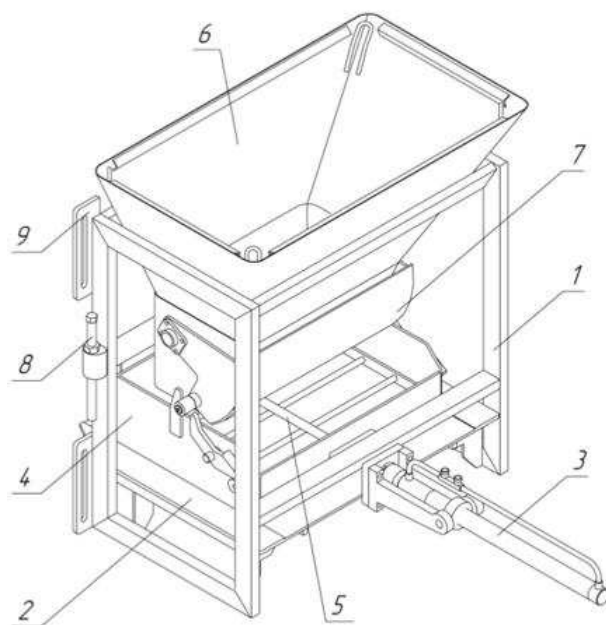
Техническая характеристика модуля подачи поддонов представлена в таблице 24.

Таблица 24 – Техническая характеристика модуля подачи поддонов

Наименования показателя	Показатель
Длительность одного цикла замены поддонов, с	5...10
Количество поддонов на сменном стеллаже, шт	6
Количество поддонов в круговом цикле, шт	10
Привод механизмов	гидравлический
Габаритные размеры, мм длина ширина высота	3755 1120 1010
Масса, кг	300

### 3.3.6 Модуль загрузки смеси

Модуль загрузки смеси (рисунок 13) предназначен для дозированной подачи смеси в матрицу вибропресса.



1 – рама; 2 – подбункерный лист; 3 – гидроцилиндр; 4 – загрузочный ящик; 5 – активатор смеси; 6 – бункер; 7 – затвор бункера; 8 – винт; 9 – элементы крепления к станине вибропресса

Рисунок 13 – Модуль загрузки смеси



Он представляет собой раму с закреплённым на ней бункером и подбункерным листом. Между бортами подбункерного листа перемещается загрузочный ящик. Перемещение ящика осуществляется расположенным в нём активатором смеси, выполненным в виде решетки, которая жестко связана со штоком гидроцилиндра. В режиме активной загрузки активатор совершает возвратно-поступательные движения, что обеспечивает равномерное распределение смеси по всей площади матрицы и исключает образование свода над пустотами матрицы. Затвор бункера устроен таким образом, что его открытие происходит только в момент нахождения загрузочного ящика под бункером. Для регулировки положения модуля загрузки смеси по высоте матрицы модуль перемещается с помощью винтов по пазам элементов крепления на станине вибропресса.

Технические характеристики модуля загрузки смеси представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Технические характеристики модуля загрузки смеси

Наименование показателя	Показатель
Ёмкость приёмного бункера, м <sup>3</sup>	0,5
Ёмкость загрузочного ящика, м <sup>3</sup>	0,13
Привод механизма	гидравлический
Диапазон регулирования по высоте, мм	50...230
Габаритные размеры, мм длина (с цилиндром) ширина высота	1805 1340 1485
Масса, кг	370

### 3.4 Характеристика выпускаемой продукции

В таблице 26 представлены физико-механические характеристики состава тротуарной плитки для основного слоя.

Таблица 26 – физико–механические свойства бетона основного слоя тротуарной плитки

Характеристики	Требования ГОСТ 17608 – 2017 для плитки тротуарной класса изделий по назначению В <sub>2</sub>	Среднее фактическое значение бетон. см. с Murasan BWA 16+каменная мука Якутия
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2000-2500	2415
Класс по прочности на сжатие	B25 (32 МПа)	57,1
Класс по прочности при изгибе	В <sub>тб</sub> 3,2- В <sub>тб</sub> 4,4	-
Минимальная толщина изделий	40,60,80,100	60
Марка по морозостойкости	Не ниже F <sub>2</sub> 200	-
Водопоглощение, % по массе	Не более 6	5,3

В таблице 27 представлены физико-механические характеристики составов тротуарной плитки для лицевого слоя.

Таблица 27 – физико–механические свойства лицевого слоя тротуарной плитки

Характеристики	Требования ГОСТ 17608 – 2017 для плитки тротуарной класса изделий по назначению В <sub>2</sub>	Среднее фактическое значение бетон. см. с Murasan BWA 17
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2000-2500	2102
Прочность на сжатие 7 сут, МПа	-	26,85
Прочность на сжатие 28 сут, МПа	B25 (32 МПа)	32,4
Марка по истираемости, G, г/см <sup>2</sup> , не более	0,8 G2	0,74 G2
Водопоглощение, %, по массе	Не более 6	6

### **3.5 Маркировка**

Маркировка должна соответствовать ГОСТ 13015. Маркировочные надписи и знаки указываются на этикетке.

Маркировочная надпись должна содержать следующие маркировочные знаки:

- знак АПВИ;
- торговый знак предприятия;
- изготовителя или его краткое наименование;
- условное обозначение изделия;
- обозначение стандарта;
- штамп ОТК; - номер партии;
- дату изготовления продукции;
- количество изделий на транспортном поддоне.

При маркировке изделий допускается нанесение дополнительных сведений, в том числе информационного и рекламного характера.

Способ маркировки должен обеспечивать сохранность маркировочных надписей и знаков до монтажа изделий и указываться в технологической документации.

### **3.6 Упаковка**

Упаковка изделий должна осуществляться в соответствии с требованиями ГОСТ 13015 и настоящего стандарта.

Изделия укладываются на многооборотные транспортные поддоны или на подкладки согласно схемам складирования, принятым в утвержденной технической документации. Допускается изменять упаковку, при обеспечении сохранности при транспортировке.

Поддон с изделиями для обеспечения сохранности и предотвращения рассыпания изделий оборачивается стрейч-пленкой или закрепляется лентами

в горизонтальном направлении и снабжается этикеткой. Допускаются иные способы упаковки, обеспечивающие сохранность изделий.

Этикетка устанавливается таким образом, чтобы избежать ее повреждения в процессе хранения и транспортировки поддона.

### **3.7 Комплектность**

В комплект поставки входят:

- изделия в соответствии с заказом;
- документ о качестве;
- упаковка в соответствии с утвержденной документацией

### **3.8 Правила приемки**

Приемку изделий следует производить партиями в соответствии с требованиями ГОСТ 13015 и настоящего стандарта.

Объем партии включает изделия одного вида, последовательно изготовленные по одной технологии из материалов одного вида в течение не более одних суток. При выпуске изделий в количестве не более 50 м<sup>2</sup> в сутки допускается в состав партии включать изделия, изготовленные в течение не более одной недели.

Изделия принимают:

По результатам приемо-сдаточных испытаний по показателям:

- предела прочности бетона при сжатии (разрушающий или неразрушающий методы контроля);
- точности геометрических параметров;
- массы;
- категории бетонной поверхности.

По результатам периодических испытаний по показателям:

- предела прочности бетона при изгибе; СТО 58357155-001-2018 15
- морозостойкости;

- водопоглощения;
- истираемости;
- сопротивления удару;
- прочности сцепления слоев;
- солестойкости;
- коэффициенту размягчения;
- коэффициенту химической стойкости;
- безыскровости;
- удельной эффективности естественных радионуклидов.

Периодичность испытаний на определение водопоглощения, морозостойкости и истираемости следует проводить не реже 1 раза в 6 месяцев, предела прочности на растяжение при изгибе – не реже 1 раза в год, а также при изменении технологии, состава бетона, вида и качества сырьевых материалов. При периодических испытаниях сезонные (регламентные, технологические) остановки производства, подтвержденные документально, не включаются в период между испытаниями.

Периодичность испытаний дополнительных (рекомендуемых) показателей допускается проводить по требованию Заказчика.

Испытания по показателю удельной эффективной активности естественных радионуклидов в бетоне проводят при первичном подборе номинального состава бетона, а также при изменении качества применяемых материалов, но не реже 1 раза в год. По согласованию с Заказчиком допускается контролировать показатель удельной эффективной активности естественных радионуклидов по паспортам поставщиков применяемых материалов при входном контроле.

Для проведения испытаний методом случайного отбора из разных мест партии отбирают число изделий (образцов) в соответствии с таблицей 28.

Таблица 28 – Число отбираемых изделий (образцов) для проведения испытаний

Наименование показателя	Число отбираемых изделий (образцов), шт.	Вид испытаний		Периодичность контроля	Метод испытания
		Приемосдаточные	Периодические		
Внешний вид, размеры	10	+	-	Каждая партия	по 9.2.12
Отклонения от номинальных размеров и формы	25	+	-	Каждая партия	по 9.2.13
Предел прочности при сжатии	6	+	-	Каждая партия	по 9.2.1 – 9.2.5
Предел прочности при изгибе	3	-	+	Один раз в 12 месяцев	по 9.2.1
Средняя плотность (Масса)	10	+	-	Каждая партия	по 9.2.10
Категория поверхности	5	+	-	Каждая партия	по 9.2.12
Морозостойкость	12 (18)	+	-	Один раз в 6 месяцев	по 9.2.8
Истираемость	4	-	+	Один раз в 6 месяцев	по 9.2.11
Водопоглощение	6	-	+	Один раз в 6 месяцев	по 9.2.9
Сцепление слоев	4	-	+	При изменении состава бетона и (или) смене сырьевых материалов	по 9.3.1
Коэффициент размягчения	6	-	+	При изменении состава бетона и (или) смене сырьевых материалов	по 9.3.2

Продолжение таблицы 28

Наименование показателя	Число отбираемых изделий (образцов), шт.	Вид испытаний		Периодичность контроля	Метод испытания
		Приемо-сдаточные	Периодические		
Сопротивление удару	4	-	+	При изменении состава бетона и (или) смене сырьевых материалов	по 9.3.4
Солестойкость	6	-	+	При изменении состава бетона и(или) смене сырьевых материалов	по 9.3.5
Безыскровость	5	-	+	При изменении состава бетона и(или) смене сырьевых материалов	по 9.3.7
Удельная эффективная активность естественных радионуклидов Аэфф	5	-	+	Один раз в год	по ГОСТ 30108
Коэффициент химической стойкости	42	-	+	При изменении состава бетона и (или) смене сырьевых материалов	по 9.3.3

Для выборочного приемочного контроля допускается применять одноступенчатый план контроля проведения испытаний методом случайного отбора из разных мест партии по ГОСТ 18321, в этом случае отбирают число изделий (образцов) в соответствии с таблицей 29.

Таблица 29 – Одноступенчатый контроль изделий (образцов)

Объем партии	Объем выборки	Приемочное число	Браковочное число
3201-10000	80	14	15
10001-35000	125	21	22
Более 35000	200	21	22

При одноступенчатом плане контроля партию изделий принимают по каждому из контролируемых показателей, если в выборке отсутствуют изделия, дефектные по данному показателю, или их число меньше браковочного числа, указанного в таблице 28.

Партия изделий, не принятая по результатам выборочного контроля, подлежит повторным испытаниям на удвоенном числе образцов, отобранных от этой партии. При этом приемка изделий должна проводиться по показателям, по которым партия не была принята. Возможность использования плит, не соответствующих заданным показателям прочности, морозостойкости и истираемости, устанавливает проектная организация или по согласованию с Заказчиком, в иных случаях партия не принимается.

Документ о качестве должен соответствовать требованиям ГОСТ 13015. В документ о качестве вносят результаты контрольных испытаний бетона на прочность и другие показатели качества.

Потребитель имеет право проводить контрольную проверку изделий, применяя при этом порядок контроля качества и методы контроля и испытаний, предусмотренные настоящим стандартом.

### **3.9 Транспортирование и хранение**

Транспортировать и хранить изделия следует в соответствии с требованиями ГОСТ 13015 и настоящего стандарта.

Условия транспортирования и хранения должны обеспечить сохранность продукции от повреждений.

Погрузка изделий навалом и разгрузка их сбрасыванием не допускается. Транспортные поддоны с изделиями должны храниться в штабелях, между которыми устраивают продольные и поперечные проходы шириной не менее 0,8 м.

Продольный проход располагают по оси складской площадки, а поперечные – через каждые (20–30) м.



(1–2) % в сторону внешнего контура с устройством водостоков и периодически очищаться от грязи, снега и льда.

Высота штабеля из поддонов с изделиями при хранении не должна превышать 2 м в случае неутрамбованного основания и 3 м в случае подготовленного уплотненного основания.

Размещение поддонов в штабелях производят отдельно по маркам. Высота пакета с поддоном не должна превышать 1,3 м.

В качестве упаковочного средства применяется растягивающая пленка по ГОСТ 10354 или другие материалы, обеспечивающие сохранность изделий. Транспортирование поддонов изделий производится транспортом любого вида с соблюдением правил перевозок грузов, действующих на данном виде транспорта.

При производстве погрузочно-разгрузочных работ следует руководствоваться требованиями безопасности труда.

## 4 ЭКОЛОГИЯ

В настоящее время в практику архитектурного проектирования во всем мире внедряется концепция экологической оценки строительных материалов и рационального их выбора с точки зрения экологической безопасности для окружающей среды и для человека. Вводятся новые понятия – экологическая оценка, жизненный цикл материала (ЖЦМ), классификация материалов согласно требованиям по защите окружающей среды, экологически целесообразный выбор строительных материалов и др.. В рамках всемирной концепции «Устойчивого развития» решается задача формирования экологического мировоззрения для решения глобальных и частных экологических проблем среды обитания человека. Эта позиция определена в международных стандартах серии ИСО (ISO) 14000 «Система управления качеством окружающей среды» и, в частности, стандартами ИСО 14040 – 14044, ориентированными на экологическое качество продукции. Такой подход направлен на обеспечение «устойчивого строительства», «устойчивой реставрации». При этом акцент делается на решение основных, глобальных экологических проблем - ресурсосбережение и предотвращение загрязнения окружающей среды при строительстве. Приоритетными являются задачи не только эстетические и инженерные, но и эколого-материаловедческие, позволяющие обеспечить выбор долговечных, экологически безопасных строительных материалов и их использование при проектировании экологически комфортных зданий.

Для решения в архитектурной практике задачи рационального выбора материалов для наружной и внутренней отделки проектируемого здания необходимо овладеть методикой экологической оценки материалов по критериям их экологической безопасности для окружающей среды и человека.

Как новое строительство, так и реставрация сопряжены с использованием разнообразных по природе строительных материалов,

которые в большей или меньшей степени благоприятны человеку и не одинаково влияют на окружающую среду, как за счет изъятия природных ресурсов, так и привнесения в неё загрязнителей. Производство строительных материалов предполагает добычу и переработку природных ресурсов, потребление энергии, воды. При этом часто происходит истощение ресурсов, уничтожение экосистем, ландшафтов, процесс загрязнения среды приводит к изменению климата на планете, образованию озоновых дыр; образование отходов может превращать плодородные земли и привлекательные ландшафты в пустыни. Это отрицательно сказывается на здоровье людей и косвенно влияет на качество строительства. Поэтому при проектировании важно выбрать эффективные материалы не только с экономической и эстетической, но и с экологической точки зрения. Для этого необходима экологическая оценка и классификация строительных материалов согласно требованиям по защите окружающей среды. В этом случае нужно, принимая решение об использовании материала, уметь оценить прямые и косвенные его воздействия на окружающую среду и человека с экологических позиций. Такой подход к их выбору соответствует требованиям всемирной концепции «устойчивого развития», «устойчивого строительства», «устойчивой реставрации».

Обычно методика экологической оценки строительного материала по его жизненному циклу состоит из следующих основных частей:

разработки и описания жизненного цикла продукта (инвентаризационный анализ),

- оценки воздействий, возникающих на протяжении жизненного цикла (оценка воздействий),

- анализ, направленный на совершенствование качества продукта (оптимизационный анализ),

- анализ, направленный на экологическую классификацию продукции и обоснованный выбор материалов для использования в строительстве (классификационный анализ).

Экологическая оценка нагрузок строительных материалов на окружающую среду должна проводиться по пяти составляющим биосферы: атмосфере, гидросфере, литосфере (почве, сырью), энергии и биотическим компонентам (включая человека).

При экологической оценке материалов, в первую очередь, необходимо учитывать негативные воздействия, приводящие к обострению глобальных экологических проблем, таких как парниковый эффект, повреждение озонового слоя, загрязнение почв, истощение ресурсов и т. д.

К негативным экологическим эффектам по жизненному циклу материала относят: истощение ресурсов, загрязнение атмосферы, загрязнение водной среды, уничтожение почвенного покрова, изменение ландшафта, возникновение техногенных ландшафтов, опасное шумовое загрязнение, образование отходов, нарушение природного равновесия в экосистеме, уничтожение, деградация, угнетение растительности, ликвидация мест гнездовий птиц, распугивание животных, нарушение их путей миграции, изменение гидрогеологического режима, изменение напряженного состояния пластов земли и прочие прямые и косвенные эффекты.

При оценке ЖЦМ обязательно учитывается также комплекс нагрузок на ОС и человека за счет транспортировки материала. Предпочтение отдается местным строительным материалам и произведенным в непосредственной близости к месту добычи для них сырья и т.п.

Принципиальная схема оценки экологических эффектов по жизненному циклу материала включает анализ следующих его этапов:

- добыча сырья;
- изготовление материалов и изделий;
- этап строительства (применение материала);

- эксплуатация («жизнь» материала в объекте, необходимость ухода для поддержания его качества, совместимость с материалами которые используются для продления этапа эксплуатации (ремонт, реставрация, реконструкция);

- уничтожение или повторное использование (при замене материала, сносе здания, сооружения).

Влияние материалов на человека и на окружающую его среду оценивается по интегральному показателю «здоровье». Воздействие строительного материала на здоровье человека анализируется для каждого этапа его жизненного цикла.

Негативное воздействие может иметь место :

- при добыче сырья ( например, пыль вызывает всевозможные заболевания: аллергию, астму, силикоз легких у рабочих)

- при строительстве (влияние растворителей красок, волокон и т.д.)

- при производстве (в результате катастроф и аварий и др.)

- при эксплуатации ( в воздух помещений выделяются опасные вещества: формальдегид, радон, влияющие на здоровье жильцов)

- при переработке отходов вблизи населенных пунктов (влияние асбеста, пыли, газов от сжигания и т.д. на здоровье рабочих и жильцов)

Основными оценочными критериями прямой опасности материала для человека остаются санитарно-гигиенические свойства и характеристики радиационной и пожарной опасности. К санитарно-гигиеническим характеристикам (СГХ) материала по СанПиН относятся: наличие в материале вредных для здоровья веществ, класс их опасности (по ГОСТ 12.1.005-88); наличие антистатических и бактериостатических свойств; наличие запаха (бальная оценка от 1 до 6 баллов); диффузионная активность ( ПДК пыли в воздухе рабочей зоны по ГОСТ12.1.005-88). Пожарная опасность оценивается по показателям: горючесть, воспламеняемость, распространение пламени, дымообразующая способность и токсичность (группа пожарной

безопасности определяется по НПБ 244-97). Радиационно-гигиенические свойства материала определяют по классу безопасности материала – по содержанию в них естественных радионуклидов (ЕРН) (по ГОСТ 30108-94 по показателю удельной эффективной активности - А эфф., Бк/кг).

Современная промышленность строительных материалов выпускает тысячи наименований разнообразной продукции. Причем в сферу материального производства вовлекается во много раз больше исходного сырья, чем выпускается готовых продуктов. Например, на выпуск 1 т чугуна расходуется 1,5-2 т сырья, 1 т алюминия – 3-10 т, 1 т никеля – 5-10 т, 1 т извести – 1,5-2 т, цемента – 1,4-1,7 т сырья. При этом на разных стадиях технологического процесса также возникают отходы. Часть отходов теряется со сточными водами, с отходящими газами, при пылении твердых продуктов в результате чего загрязняются атмосфера, гидросфера, почва. Для складирования твердых отходов сооружаются специальные отвалы и полигоны, занимающие ценные земельные площади.

После того как продукция выполнила свою функцию, отходы, например, от сноса здания, могут создать много проблем, особенно при использовании в здании разнородных материалов. Дело здесь в трудности их разделения и плохой биоразлагаемости многих полимерных синтетических материалов. Отсюда негативные воздействия на окружающую среду: образование мусора, занятие пространства и уничтожение ландшафта, выделение вредных веществ при их сжигании. На удаление отходов производства затрачивается, в среднем, 8-10% стоимости производимой продукции. Транспортирование, складирование, концентрирование, обезвреживание, захоронение, улавливание отходов ежегодно поглощает миллиарды рублей. С другой стороны, отходы производства могут стать мощным источником сырья для промышленности. Поэтому следует всегда учитывать возможность повторного использования строительных материалов или возможности их переработки в новый материал.

Основными принципами выбора строительных материалов методом экологического предпочтения считаются следующие:

- думать глобально;
  - выбирать вариантно;
  - использовать только материалы безопасные для человека;
  - предпочтительно использовать материалы минимально нагружающие окружающую среду;
  - использовать материалы строго по показателям их назначения;
  - использовать долговечные материалы;
  - использовать полифункциональные материалы;
  - использовать только качественные материалы;
  - использовать ресурсо- и энергосберегающие материалы;
  - использовать экономно – избегать отходов;
  - использовать материалы из возобновляемого сырья;
  - использовать материалы ремонтнопригодные и легко заменяемые;
- использовать материалы легко сортируемые после окончания срока их использования;
- использовать материалы, которые будут в конце их ЖЦ пригодны для повторного использования.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

На основании проведённых исследований разработаны составы, технология, технологическая линия по получению вибропрессованных бетонных элементов благоустройства – тротуарной плитки для благоустройства современных городов в условиях Республики Саха (Якутия) и сделаны следующие выводы:

1. Установлено, что введение микрокремнезема МКУ-95 в количестве 7 % (состав № 3) приводит к увеличению прочности по сравнению с контрольным составом. Прочность на сжатие состава № 3 составила 59,2 МПа.

2. Установлено, что введение каменной муки – тонкодисперсной фракции отсева при дроблении щебня в количестве 7 % (состав № 2) от массы цемента приводит к увеличению прочности по сравнению с контрольным составом. Прочность на сжатие составила 57,1 МПа.

3. Выявлено, что введение добавки Murasan BWA 17 в количестве от 0,55 % повышает способность к уплотнению жестких бетонных смесей и обеспечивает эффективное смачивание компонентов при изготовлении бетонной смеси, гидрофобизирующая способность снижает водопоглощение лицевого слоя на тонком песке.

4. Подобраны составы вибропрессованного бетона основного и лицевого слоев для плитки тротуарной класса изделий по назначению В<sub>2</sub> - класс бетона В25, требуемая прочность не менее 32 МПа. Прочность на сжатие образцов рекомендованного состава основного слоя составила 57,1 МПа. Данные составы можно рекомендовать для производства бетонных элементов благоустройства.

5. Подобрана технологическая линия по производству бетонных элементов благоустройства была использована отечественная линия разработанная предприятием ООО "Рифей". Данное оборудование не уступает



по качеству зарубежным аналогам, что позволяет выпускать тротуарные плитки высокого качества.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 310.1–76 Цементы. Методы испытаний. Общие положения. – Взамен ГОСТ 310–60 в части общих положений; введ. 01.01.1978. – ИПК издательство стандартов. 2003. – 3 с.

2. ГОСТ 310.3–76 Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема. – Взамен ГОСТ 310–60 в части определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема; введ. 01.01.1978. – ИПК издательство стандартов. 2003. – 11 с.

3. ГОСТ 310.4–81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. – Взамен ГОСТ 310.4–76; введ. 30.06.1983. – ИПК издательство стандартов. 2003. – 10 с.

4. ГОСТ 31108-2003. Цементы общестроительные. Технические условия. – Введ 21.06.2003 – М.:ГУП ЦПП, 2004, 23 С.

Гост 30515-2013. Цементы. Общие технические условия. – Введ 11.06.2014 – М.: Стандартиформ 2014, 104 с.

5. ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. – Введ 10.07.1985 – М.: Стандартиформ, 2008, 11 с.

ГОСТ 8736–2014 Песок для строительных работ. Технические условия. – Взамен ГОСТ 8736-93; введ. 01.04.2015. – Москва:Стандартиформ. 2015. – 8 с.

6. ГОСТ 8735–88 Песок для строительных работ. Методы испытаний. – Взамен ГОСТ 8735–75, ГОСТ 25589–83; введ. 30.06.1989. – Москва: Стандартиформ. 2008. – 24 с

7. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. – Введ 1.01.1995 – М.: Госстрой России, 1994, 14 с.

8. ГОСТ 8269.0-97 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний– Введ 1.07.1998 – М.: Госстрой России, 1998, 24 с.  
ГОСТ 23732. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия. – Введ 1.10.2012 – М.: Стандаринформ, 2012, 19 с.

9. ГОСТ 7076-99. Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. – Введ.24.12.1999 – М.: Госстрой России, 2000, 19 с.

10. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. - 368 с.

11. Зайцев, И. Н. Высокопрочный бетон / И.Н. Зайцев // СтройПРОФИль, 2007. -№8 (62). - С. 49 - 56.

12. Ольгинский, А.Г. Оценка и регулирование структуры зоны контакта цементного камня с минералами заполнителя: Дис... д-ра техн. наук: 05.23.05 / Харьковский автомобильно-дорожный технический ун-т. - Х., -1994. - 397 с.

Баженов, Ю.М. Проектирование предприятий по производству строительных материалов и изделий / Ю.М. Баженов, Л.А. Алимов, В.В. Воронин, Н.В. Трескова. Уч.-М.: Изд-во АСВ, 2005 - 472с.

13. Косторных Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы. – Ростов н/Д: Феникс, 2005. - 221 с.

Ю.Г. Барабанщиков. Строительные материалы и изделия - М.: Издательский центр «Академия», 2008. — 368 с.

14. Микульский В.Г. Строительные материалы (материаловедение и технология): Учебное пособие. – М.: ИАСВ, 2002. – 536 с.

15. А.А. Борщевский, А.С. Ильин. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий. – Москва «Высшая школа» 1987, 366 с.

16. Ю.М. Баженов. Технология бетона. Учебник. – М.: Издательство АСВ, 2007, 528 с.

17. Э.Г. Мурадов. Материалы для приготовления бетонной смеси и строительного раствора. - Москва «Высшая школа» 1987, 110 с.

18. Кузнецова, Т.В. Техническая и экономическая эффективность использования минеральных добавок / Т.В. Кузнецова // Заводская лаборатория и переход на новые стандарты. Техническое регулирование. Мат. XXII Всероссийского (VI Международного) совещания начальников лабораторий цементных заводов, 13-16 ноября 2007г. - СПб.: АНО «Центр информатизации образования «КИО», 2007. - С. 36 - 44.

19. ГОСТ 10060.0-95. Бетоны. Методы определения морозостойкости. Общие требования - Взамен ГОСТ 10060-87; введ. 1996-09-01. / Минстрой России. - М. : ГУПЦПП, 1997.- 13 с.

20. ГОСТ 13087-81. Бетоны. Методы определения истираемости. - Взамен ГОСТ 13087-67; введ. 1982-01-01. -М.: Изд-во стандартов, 1990. - 13 с.  
ГОСТ 17608-91. Плиты бетонные тротуарные. Технические условия. - Введ. 1992-01-01. - М. : Изд-во стандартов, 1993. - 15 с.


21. ГОСТ 12730.3-78 Бетоны. Метод определения водопоглощения. - Введ. 198001-01. - М. : Изд-во стандартов, 1996. - 11 с.

22. Источник: «Эм-Си Баухеми» <http://www.mc-bauchemie.ru/>

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-строительный институт  
*институт*  
Строительные материалы и технологии строительства  
*кафедра*

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

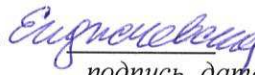

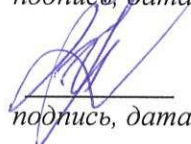
  
подпись Инджиевская И.Г.  
инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_ 2020 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

08.03.01 «Строительство»

08.03.01.17 «Технолог бетонного производства»

Технологическая линия по производству бетонных элементов  
благоустройства

Руководитель	 подпись, дата	доцент, канд.техн.наук должность, ученая степень	<u>И.Г.Енджиевская</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 подпись, дата		<u>В.В. Андреева</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 подпись, дата		<u>И.А. Игнатюк</u> инициалы, фамилия

Красноярск 2020