

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Архитектурно-строительный институт

(наименование института полностью)

Центр архитектурных, конструктивных решений и организации строительства

(наименование)

08.04.01 «Строительство»

(код и наименование направления подготовки)

Технология строительного производства

(направленность (профиль))

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Устройство двухслойных полов промышленных зданий с  
повышенной износостойкостью

Студент

О.В. Долбунова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

д.э.н., к.т.н., профессор А. А. Руденко

руководитель

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

## Содержание

Введение.....	4
1 Теоретические аспекты исследования покрытий полов промышленных зданий .....	10
1.1 Конструкции полов промышленных зданий.....	10
1.2 Оценка возможности применения дисперсно-армированных бетонов и сталефибробетона при устройстве полов .....	24
1.3 Технологии устройства полов промышленных зданий с повышенной износостойкостью .....	36
2 Анализ эксплуатационных характеристик сталефибробетонных смесей.....	44
2.1 Конструкционные параметры сталефибробетонных смесей со слоем износа .....	44
2.2 Анализ эксплуатационных характеристик сталефибробетонных смесей в слое износа.....	46
2.3 Определение влияния технологических характеристик сталефибробетонной смеси на процессы устройства покрытия со слоем износа .....	55
3 Экспериментальные исследования технологических параметров устройства слоя износа и проверка его прочностных характеристик .....	63
3.1 Методика планирования, проведения лабораторных экспериментов, материалы и оборудование применяемые при этом .....	63
3.2 Технология устройства покрытий с повышенной износостойкостью .....	70
3.3 Техничко-экономическая эффективность технологии устройства покрытий с повышенной износостойкостью .....	76
Заключение .....	80

Список используемой литературы .....	82
Приложение А Сравнительный анализ затрат материалов .....	89
Приложение Б Калькуляция затрат .....	90

## Введение

Актуальность исследования. На настоящий момент развития и становления технологий производства материалов одним из достаточно удачных является фибробетон. Фибробетон – это композитный материал, в котором цемент матрицы и волокна являются дискретными, то есть они разного происхождения. У них повышенная трещиностойкость, ударная вязкость, прочность, сопротивление истираемости.

Конструкции и элементы из фибробетона допускается изготавливать без армирования стержневыми сетками и каркасами, что при создании определённых условий может упростить технологию изготовления изделия и снизить её трудоемкость.

Основными проблемами производства конструкций с применением фибробетона является обеспечение равномерного распределения армирующих волокон по объему элемента, а также их ориентация в таком направлении, чтобы большая часть фибр воспринимала растягивающие усилия в растянутой зоне бетона. В диссертационной работе были исследованы возможные способы их решения посредством применения бегункового смесителя и устройств, позволяющих расположить волокна в требуемом направлении.

Основной проблемой получения качественного фибробетона является получение равномерного распределения волокон по объему. Государственные стандарты, регламентирующие технологии производства фибробетона на основе минеральной фибры, не позволяют ориентировать волокна в необходимом направлении. Существующие нормы по проектированию фибробетонов учитывают модель сведения отклоненных от горизонтали волокон к объемно-параллельному расположению.

На сегодняшний день существует большое разнообразие армирующих волокон. Основная часть научных исследований посвящена фибробетонам на основе стальных волокон, ввиду их коррозионной стойкости к агрессивной среде

в твердеющей цементной матрице, высокого модуля упругости, а также высокой степени освоенности производства наряду с другими типами. По этой же причине практически все существующие строительные нормы и государственные стандарты, относятся к регулированию технологических операций по производству сталефибробетонов.

На данный момент времени в странах Европы, США, Японии и др. действует нормативная документация, регулирующая проектирование конструкций из фибробетона, а также определяющая технологические способы их изготовления, методы испытаний образцов и характеристик фибробетонных смесей.

В Советском Союзе также разрабатывались нормы по применению фибробетонов на основе различных волокон. Но внедрение новых строительных материалов может растянуться на десятилетия, что связано с довольно длительным процессом изучения их свойств. Благодаря исследованиям НИИЖБ, НИИЭП, ЦНИИПромзданий и др. стало возможным достаточно полно и относительно быстро исследовать сталефибробетоны. В результате данных исследований была подготовлена нормативная база, без которой невозможно представить их массовое внедрение. Данная нормативная база содержит технологии приготовления сталефибробетонов, особенности расчетов, а также методы проектирования. Так, например, в 1987 году специалисты НИИЖБ Госстроя СССР сформулировали и создали «Рекомендации по проектированию и изготовлению сталефибробетонных конструкций» — первый официальный текст, который структурировал и упорядочил базовые требования к сборным и монолитным несущим и ограждающим конструкциям из сталефибробетона, где также изложены требования к подбору состава сталефибробетона, типам смесителей, способам приготовления сталефибробетонных смесей, их транспортировке укладке и уплотнению.

В Российской Федерации действует ряд рекомендательных документов,

которые обеспечивают процессы проектирования и применения конструкций из интересующих нас в данном исследовании сталефибробетона.

Практически все рекомендации содержат указания по проектированию и расчету сталефибробетонных конструкций по прочности, раскрытию трещин и деформациям. Руководящие технические материалы, помимо этого распространяются на технологию изготовления фибробетонов на фибре из проволоки, резаной из листа или полученной фрезерованием стальных слябов. Здесь описаны требования к бетоносмесителю, и как правило, это серийный бетоносмеситель принудительного действия, обеспечению равномерности распределения фибр за счет введения пластифицирующих добавок, применения диспергаторов, устройств, рассредоточивающих фибру, и ограничения времени смешивания, в соответствии с техническим регламентом. Описаны способы введения фибры в сухую смесь и порционного введения в затворенную, включая последовательность введения сыпучих компонентов и схемы получения смеси при использовании автобетоносмесителя. Также регламентируется подбор сталефибробетонной смеси.

Ведомственные строительные нормы ВСН 56-97 распространяются на проектирование несущих и ограждающих конструкций из сталефибробетона и стеклофибробетона для зданий и сооружений различного назначения. В первой части рассматриваемого документа изложены общие рекомендации к подбору материалов стеклофибробетонной смеси и расчету конструкций, во второй – требования к материалам и технологическому оборудованию. В подпункте 2.3 даны рекомендации по оптимальному использованию технологий производства фибробетонных конструкций, включающих технологии набрызга в заводских и построечных условиях, предварительного перемешивания с уплотнением, осуществляемым вибрированием, радиальным роликовым формованием, экструзией, а также производства сталефибробетонных изделий и товарных смесей. Здесь же приведены технологические схемы организации строительных работ и заводского производства.

Цель работы – исследовать устройство промышленных полов с повышенной износостойкостью.

Задачи:

- рассмотреть теоретические аспекты исследования покрытий полов промышленных зданий;
- провести анализ эксплуатационных характеристик сталефибробетонных смесей;
- провести исследования физико-механических свойств пола со слоем износа из сталефибробетона, включая прочностные характеристики и истираемость.

Объектом магистерской диссертации является технология устройства промышленных полов с повышенной износостойкостью.

Предметом исследования являются технологические параметры отдельных операций и процесса в целом, которые применяются при устройстве полов промышленных зданий с повышенной износостойкостью.

Методами магистерской диссертации стали анализ, синтез, дедукция, а также обобщение полученной информации.

Результаты (основные положения), выносимые на защиту:

1. Эксплуатационные характеристики сталефибробетонных смесей.
2. Результаты исследования покрытий полов промышленных зданий.
3. Параметры устройства слоя износа и его прочностные характеристики.

Научная новизна заключается в исследовании технологических параметров устройства пола промышленных зданий из сталефибробетонных смесей и проверка их эксплуатационных и прочностных характеристик.

Практическая значимость работы заключается в возможности устройства полов на существующих или проектируемых промышленных или производственных зданиях из сталефибробетонных смесей обладающих повышенной прочностью и износостойкостью.

По теме диссертации автором опубликовано две статьи. Основные

положения, материалы и результаты диссертационного исследования опубликованы в научных изданиях:

1. Долбунова О.В. Особенности устройства промышленных полов со слоем износа из сталефибробетона/ О.В. Долбунова, А.А.Руденко/ «Студенческий вестник»: научный журнал. – № 22(120). Часть 6. Москва, Изд. «Интернаука», 2020. – 100 с. – Электрон. версия печ. публ. – <https://studvestnik.ru/journal/stud/herald/120>

2. Долбунова О.В. Влияние технологических характеристик сталефибробетонной смеси на процессы устройства покрытия со слоем износа/ О.В. Долбунова, А.А.Руденко/ Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии: сборник статей XXII Международной научно-практической конференции / МНИЦ ПГАУ. – Пенза: РИО ПГАУ, 2020.-41-46 с.

Структура работы. ВКР состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, приложений. В первой главе рассмотрены теоретические аспекты исследования покрытий полов промышленных зданий: конструкции полов промышленных зданий; оценка возможности применения дисперсно-армированных бетонов и сталефибробетонов при устройстве полов; технологии устройства полов промышленных зданий из сталефибробетона с повышенной износостойкостью.

Во второй главе проводится анализ эксплуатационных характеристик сталефибробетонных смесей: конструкционные параметры сталефибробетонных смесей со слоем износа; изучаются и анализируются эксплуатационные свойства и особенности сталефибробетонных смесей в интересующем нас слое износа; определяется степень воздействия технологических особенностей сталефибробетонной смеси на устройство половое покрытие со слоем износа.

В третьей главе магистерской диссертации были запланированы и описаны результаты проведенных экспериментальных исследований по

проверке прочности и износостойкости бетона: описаны планирование лабораторных экспериментов, материалы и оборудование, применяемое при этом; анализ результатов проведенных исследований; технология устройства покрытий с повышенной износостойкостью; технико-экономическая эффективность предлагаемых мероприятий.

В заключении подводится итог проделанной работы.

# **1 Теоретические аспекты исследования покрытий полов промышленных зданий**

## **1.1 Конструкции полов промышленных зданий**

Армирование композиционных материалов волокнами используют с древнейших времен. Тысячи лет известен такой материал, как саман, и здания, построенные из него, могут прослужить несколько столетий [4]. Этот материал, представляющий собой глинистый грунт с добавлением соломы и навоза можно считать предшественником фибробетона.

«Фибробетон – композиционный материал, содержащий гидравлическое вяжущее, мелкий, иногда, и крупный заполнитель, армированный дисперсными волокнами. В качестве армирующих фибр используют резаные волокна из различных материалов с различной геометрией. Для обеспечения высоких прочностных характеристик конструкций возможно устройство комбинированного армирования дисперсной и стержневой арматурой.

При модуле упругости волокна большего, чем цементной матрицы, считается, что основную часть приложенных напряжений воспринимают волокна, а общая прочность композиционного материала пропорциональна их объемному содержанию» [4, с.6].

Способ армирования конструкционных материалов фиброй, как и другими типами арматуры, известен со второй половины XIX века. Впервые патент, регламентирующий прибавление к бетону отходов железа в гранулах, был получен в 1874 году А. Берардом (A.Berard, США). С 1898 по 1933 гг. учеными из разных стран запатентовано несколько изобретений, относящихся к поиску оптимальной геометрии армирующего волокна, выбору материалов армирующего компонента и вяжущего, а также регламентирующие технологии изготовления фибробетона [12].

В различных странах становление технологии дисперсного армирования в качестве альтернативы стержневому армированию происходило постепенно [13]. Долгое время развитие фибробетона было затруднено, поскольку

производство фибробетона достаточно дорогое, другими проблемами был явный недостаток теоретической базы о данном композите, а также параллельное становление производства железобетонных конструкций с применением стержневой арматуры. В 1950-х годах под руководством Ромуалди (Romualdi, Watson и Mandel) были опубликованы статьи (1963 г., 1964 г.) о механике трещинообразования для сталефибробетона, с чем, практически одновременно появилась возможность производства волокон из полимерных, минеральных, углеродных и т.д. материалов.

Таким образом, в 1970-х годах дисперсное армирование бетонов стальными волокнами стало жизнеспособной альтернативой стержневому армированию [16]. В связи с этим повысился интерес ученых к получению недорогих и прочных композиционных материалов, в том числе к технологиям изготовления фибробетонов.

В. Б. Арончик пишет, «что касается конструкции пола промышленного здания, то относительно отрасли производства и вида нагрузок, можно выделить следующие разновидности:

- устройство бетонных промышленных полов для помещений умеренной нагрузки;
- устройство бетонных промышленных полов для помещений высокой нагрузки;
- устройство бетонных промышленных полов помещений сверхвысокой нагрузки» [1, с.123].

Рассмотрим конструкции бетонных полов для помещений умеренной нагрузки при устройстве по грунту и по панели перекрытия; остальные пункты будут рассматриваться только по грунту.

Как и в других помещениях, по словам Н.Н. Боровского, в производственных помещениях также промышленные бетонные полы выполняются по грунту и по плите перекрытия и точно также, устройство полов по грунту более трудоемко, нежели по плите перекрытия [2].

Рассмотрим, как говорится, «что и как» в устройстве пола по грунту (см. рисунок 1).

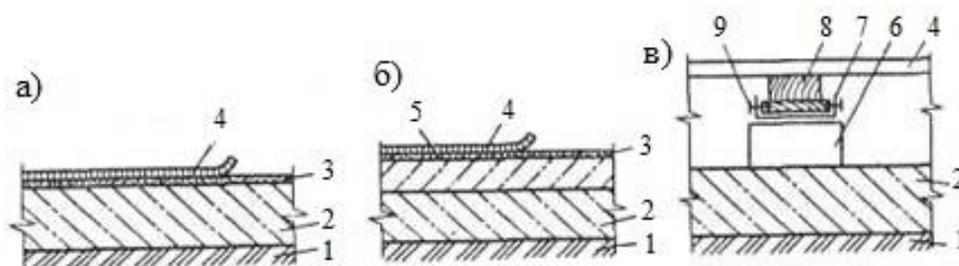


Рисунок 1 - Виды полов по грунту: а) бетонная подготовка; б) утепленное половое покрытие; в) вид по лагам на столбиках; 1 - уплотненный грунт; 2 - бетонная подготовка; 3 - стяжка; 4 - покрытие пола; 5- утепляющий слой; 6 - кирпич; 7 - два слоя рубероида; 8- лага; 9 - антисептированная подкладка

Поверх укладывают гидроизоляционную мембрану, которая защитит пол от грунтовых вод и различных жидкостей, протекающих через основание при возникновении аварий. Бетонная стяжка необходима для выравнивания поверхности, маскировки систем канализации и водопровода, подготовки к укладке финишного покрытия. Она распределяет нагрузку на нижележащие слои. На нее кладут специальную подложку для связки стяжки с финишным настилом. Вид финишного покрытия зависит от технологических моментов производства» [42, с.51].

К. Глуховский утверждает, что классические бетонные полы с повышенными прочностными характеристиками внешнего слоя – наиболее востребованный тип пола для гаражей, СТО и автомоек. Их поверхность не пылит, прочна и надежна [14].

Наливные полы для промышленных зданий устойчивы к механическим повреждениям и химикатам. Они имеют более благородный вид по сравнению с топтингами, поэтому их устанавливают в торговых центрах, офисных компаниях, административных учреждениях.

По словам В. А. Голанцева полимерные полы востребованы в зданиях с повышенными требованиями гигиены: фармацевтических корпорациях, пищевой промышленности. Такая поверхность выдерживает систематическую уборку и инертна к агрессивным веществам. Магнезиальные покрытия являются бесшовными, они идеально подходят для складов и автопаркингов. Монтируемые разновидности укладывают в офисах, магазинах, торговых помещениях, ресторанах и кафе [15]. Данный тип полимерной поверхности не предназначен для интенсивной нагрузки с использованием различной техники.

Технология укладки бетонных полов для промышленных нужд – сложный технологический процесс, выполнять который должны только профессионалы. Их заливают либо на существующее основание, либо непосредственно на грунт после тщательной трамбовки его по всей площади помещения. Старое основание нужно также тщательно подготовить: убрать выбоины, градации по высоте, трещины и прочие крупные дефекты ремонтным раствором. Сильно разрушенное основание рекомендуется полностью демонтировать, восстанавливать его нерентабельно. Для укладки понадобятся такие инструменты и материалы [18]:

- бетон марки М400 и выше;
- маяки, арматура диаметром 1 см, проволока для связки;
- рулонные гидроизоляционные материалы, теплоизоляция;
- маяки, материалы для топпинга или другого полимерного настила;
- глубинный вибратор либо виброрейка;
- бетонозаглаживающая машина;
- уровень, шпатель, малярный скотч, правило;
- прочие подсобные материалы.

Поверх укладывают гидроизоляционную мембрану, которая защитит пол от грунтовых вод и различных жидкостей, протекающих через основание при возникновении аварий. Бетонная стяжка необходима для выравнивания поверхности, маскировки систем канализации и водопровода, подготовки к

укладке финишного покрытия. Она распределяет нагрузку на низлежащие слои. На ее кладут специальную подложку для связки стяжки с финишным настилом. Вид финишного покрытия зависит от технологических моментов производства» [42, с.51]. Их поверхность не пылит, прочна и надежна [14].

Наливные полы для промышленных зданий устойчивы к механическим повреждениям и химикатам. Они имеют более благородный вид по сравнению с топпингами, поэтому их устанавливают в торговых центрах, офисных компаниях, административных учреждениях.

По словам В. А. Голанцева полимерные полы востребованы в зданиях с повышенными требованиями гигиены: фармацевтических корпорациях, пищевой промышленности. Такая поверхность выдерживает систематическую уборку и инертна к агрессивным веществам. Магнезиальные покрытия являются бесшовными, они идеально подходят для складов и автопаркингов. Монтируемые разновидности укладывают в офисах, магазинах, торговых помещениях, ресторанах и кафе [15]. Данный тип полимерной поверхности не предназначен для интенсивной нагрузки с использованием различной техники.

Технология укладки бетонных полов для промышленных нужд – сложный технологический процесс, выполнять который должны только профессионалы. Их заливают либо на существующее основание, либо непосредственно на грунт после тщательной трамбовки его по всей площади помещения. Старое основание нужно также тщательно подготовить: убрать выбоины, градации по высоте, трещины и прочие крупные дефекты ремонтным раствором. Сильно разрушенное основание рекомендуется полностью демонтировать, восстанавливать его нерентабельно.

Поверх укладывают гидроизоляционную мембрану, которая защитит пол от грунтовых вод и различных жидкостей, протекающих через основание при возникновении аварий. Бетонная стяжка необходима для выравнивания поверхности, маскировки систем канализации и водопровода, подготовки к укладке финишного покрытия. Она распределяет нагрузку на низлежащие слои.

На ее кладут специальную подложку для связки стяжки с финишным настилом. Вид финишного покрытия зависит от технологических моментов производства» [42, с.51].

К. Глуховский утверждает, что классические бетонные полы с повышенными прочностными характеристиками внешнего слоя – наиболее востребованный тип пола для гаражей, СТО и автомоек. Их поверхность не пылит, прочна и надежна [14].

Наливные полы для промышленных зданий устойчивы к механическим повреждениям и химикатам. Они имеют более благородный вид по сравнению с топпингами, поэтому их устанавливают в торговых центрах, офисных компаниях, административных учреждениях.

Такая поверхность выдерживает систематическую уборку и инертна к агрессивным веществам. Магнезиальные покрытия являются бесшовными, они идеально подходят для складов и автопаркингов. Монтируемые разновидности укладывают в офисах, магазинах, торговых помещениях, ресторанах и кафе [15].

Данный тип полимерной поверхности не предназначен для интенсивной нагрузки с использованием различной техники.

Их заливают либо на существующее основание, либо непосредственно на грунт после тщательной трамбовки его по всей площади помещения. Старое основание нужно также тщательно подготовить: убрать выбоины, градации по высоте, трещины и прочие крупные дефекты ремонтным раствором. Сильно разрушенное основание рекомендуется полностью демонтировать, восстанавливать его нерентабельно.

Это, безусловно, отражается на конструктивных решениях пола: используются сверхпрочные бетоны и специальные добавки для их усиления; обязательно армирование каждого чернового слоя бетона; большая толщина слоя; сверхпрочное напольное покрытие. В общем, есть отличия от полов для помещений с высокими нагрузками.

«Черновая армированная стяжка имеет отличие в том, что материал имеет прочность не 35, а 40 МПа и имеет (не обязательно, но желательно) в своем составе модификаторы прочности и фибру стекольного, целлюлозного или металлического производства. Этот слой нужен для стабилизации грунта и дальнейшей укладки гидроизоляционного слоя. Конечно, лучше нанести количество слоев с запасом, использовать качественные материалы, следовать технологии и т. д. Черновая стяжка может быть выполнена только из высокопрочного бетона с устройством армирования, как описано в остальных случаях. Прочность материала должна составлять не менее 40 МПа на сжатие (и 1,5 МПа на разрыв) и толщина слоя – 150 мм. При этом поверхность в дальнейшем подвергается фрезеровке» [42, с. 65].

В. П. Вылекжанин пишет, что надежность промышленных полов зависит от качества выполнения черновых работ. Классические бетонные полы без специализированной обработки не эргономичны, они являются источником пыли и грязи. Для большинства предприятий оптимальным решением станет укладка наливного либо полимерного покрытия. Такой пол выдерживает интенсивную нагрузку, легок в уходе, долговечен [13].

На полу промышленных зданий происходят все технологические процессы. Конструктивные особенности и материал напольного покрытия зависят от разновидности и степени механического влияния и параметров нагрузки, веса техники и груза. Они должны соответствовать общепринятым нормативам:

- иметь достаточное сопротивление на изгиб, растяжение и сжатие;
- быть износостойким, устойчивым к ударам и агрессивным химикатам;
- поверхность должна легко очищаться и подлежать ремонту;
- выдерживать перепады температуры, воздействие влаги;
- быть безопасным для передвигающегося по нему транспорта;
- внешний настил должен быть гладким и противоскользящим с диэлектрическими свойствами;

– настил не должен источать вредные вещества, пылить, источать запахи [21].

«Полы промышленных зданий состоят из нескольких слоев, придающих ему прочность и надежность. Нижний слой является надежной опорой, на которую приходится осуществляемые нагрузки с пола. Это грунтовое основание. На него укладывают подстил, который равномерно распределяет нагрузку. В качестве подстилки подойдет уплотненный песок. Далее необходим тепло- и звукоизоляционный слой, который не только защитит бетонное основание промышленных зданий от переохлаждения, но и дополнительно устранит попадание ударного шума на нижние этажи и соседние помещения.

Поверх укладывают гидроизоляционную мембрану, которая защитит пол от грунтовых вод и различных жидкостей, протекающих через основание при возникновении аварий. Бетонная стяжка необходима для выравнивания поверхности, маскировки систем канализации и водопровода, подготовки к укладке финишного покрытия. Она распределяет нагрузку на нижележащие слои. На нее кладут специальную подложку для связки стяжки с финишным настилом. Вид финишного покрытия зависит от технологических моментов производства» [42, с.51].

К. Глуховский утверждает, что классические бетонные полы с повышенными прочностными характеристиками внешнего слоя – наиболее востребованный тип пола для гаражей, СТО и автомоек. Их поверхность не пылит, прочна и надежна [17].

Наливные полы для промышленных зданий устойчивы к механическим повреждениям и химикатам. Они имеют более благородный вид по сравнению с топпингами, поэтому их устанавливают в торговых центрах, офисных компаниях, административных учреждениях.

По словам В. А. Голанцева полимерные полы востребованы в зданиях с повышенными требованиями гигиены: фармацевтических корпорациях, пищевой промышленности. Такая поверхность выдерживает систематическую

уборку и инертна к агрессивным веществам. Магнезиальные покрытия являются бесшовными, они идеально подходят для складов и автопаркингов. Монтируемые разновидности укладывают в офисах, магазинах, торговых помещениях, ресторанах и кафе [18]. Данный тип полимерной поверхности не предназначен для интенсивной нагрузки с использованием различной техники.

Технология укладки бетонных полов для промышленных нужд – сложный технологический процесс, выполнять который должны только профессионалы. Их заливают либо на существующее основание, либо непосредственно на грунт после тщательной трамбовки его по всей площади помещения. Старое основание нужно также тщательно подготовить: убрать выбоины, градации по высоте, трещины и прочие крупные дефекты ремонтным раствором. Сильно разрушенное основание рекомендуется полностью демонтировать, восстанавливать его нерентабельно. Для укладки понадобятся такие инструменты и материалы [21]:

- бетон марки М400 и выше;
- маяки, арматура диаметром 1 см, проволока для связки;
- рулонные гидроизоляционные материалы, теплоизоляция;
- маяки, материалы для топпинга или другого полимерного настила;
- глубинный вибратор либо виброрейка;
- бетонозаглаживающая машина;
- уровень, шпатель, малярный скотч, правило;
- прочие подсобные материалы.

В.И. Григорьев пишет, что «изначально в местах дверных проемов и расположения напольных люков устанавливают опалубку, с помощью нивелира размечают высоту наивысшей точки пола. На грунтовое основание засыпают песчаную подушку, затем щебень, обе прослойки тщательно трамбуют. После укладки тепло- и гидроизоляции необходимо выполнить черновую стяжку толщиной 4,5-5 см. На стяжку устанавливают маяки и укладывают арматурную сетку. Она необходима для придания прочности бетону. В качестве маяков

подойдут швеллера, уголки, металлические профили и подобные конструкции из бетона.

Конструктивные элементы сетки можно соединять сварными швами либо проволочным плетением, формируя ячейки 20×20 см. Далее вдоль всего периметра стен необходимо уложить полипропиленовую ленту для формирования осадочных швов. Такие швы не позволят растрескиваться бетону из-за разности просадки стен и полов. В процессе заливки бетона необходимо следить, чтобы раствор был однородным и ложился без швов. На больших площадях заливку выполняют посекционно». [16].

Е. В. Гулимова пишет, что утрамбовку выполняют виброрейками либо глубинным вибратором, в результате удаляются воздушные пузырьки и прослойки, поверхность тщательно выравнивают. Допускается погрешность до 3 мм, она не влияет на эксплуатационные характеристики полов, не заметна визуально. После отвердевания бетона проводится затирка специализированным оборудованием [17].

Швы на бетоне являются компенсационными соединениями. Они необходимы для снижения вероятности растрескивания бетонного основания при интенсивной нагрузке и неравномерности осадки стен и пола здания. Их нарезают по секциям согласно технологической разметке и границам заливки секций специализированным инструментом. Не следует допускать появления острых углов и линий в Т-формы. Внутреннее пространство швов заполняют герметиком на основе полиуретана.

Финишное покрытие укладывается в зависимости от его типа. По словам М.Г. Курбатова классические бетонные полы без полимерного покрытия выдерживает умеренную нагрузку. При интенсивной нагрузке необходимо сооружать с упрочненным верхним слоем [30]. Для этого используют специальную смесь – топпинг. Помимо цементного раствора и пластификаторов в нее добавляют упрочнители. Нанесение упрочнителя возможно только через 6 часов после заливки основного пола. По поверхности

рассыпают 2/3 нужного количества смеси, втирая ее бетонозаглаживающей машиной.

Не рекомендуется разбавлять упрочнитель водой, это может ухудшить внешний вид готового пола и технические показатели самого упрочнителя. Для придания блеска готовому полу на него наносят специальный лак. Для повышения устойчивости покрытия к царапинам рекомендуется через несколько месяцев нанести его вновь.

Ф.Н. Рабинович утверждает, что для топпинга можно нанести полимерное покрытие, которое также пригодно для интенсивного использования в производственных помещениях. Его можно укладывать через месяц после заливки бетонного основания. Полимер нельзя наносить на покрытие с высокой влажностью. Чтобы удостовериться в том, что полы просохли можно на него вверх дном поставить банку. Если под ней скопилась влага, значит, полы не готовы к дальнейшим работам. Полимер наносят тремя слоями с шестичасовым интервалом между ними. Краску наносят на полы, когда влажность в здании не превышает 70%, а температурный режим укладывается в пределах от +10° до +30° [41].

Наливное покрытие промышленных зданий укладывают на подготовленное бетонное основание. Допускаются незначительные градации по высоте. Перед заливкой всю площадь обрабатывают грунтовкой глубокого проникновения и дают ей высохнуть в течение суток. Влажность основания перед заливкой должна составлять 5%. Смесь изготавливают строго по рекомендации производителя. Готовый раствор наливают частями рядом с предыдущей порцией, контролируя толщину заливки. По окончании работы поверхность трамбуют специальным валиком с иглами, чтобы смесь равномерно просела, и из нее отделились воздушные пузырьки.

Как утверждает Б. А. Евсеев, «в процессе высыхания поверхности влажность воздуха в производственных помещениях не должна превышать 60%. Температурный режим в здании лучше соблюдать в пределах от +5° до

+25° без сильных градаций. Наливные полы выстаиваются в течение месяца, но ходить по ним можно осторожно через сутки после заливки. В этот период не допускаются какие-либо механические воздействия и обработка химикатами. В небольших помещениях установку мебели и оборудования можно выполнять через 2 недели. Правильный режим сушки позволит не допустить вздутий и отслойки наливного покрытия» [21, с. 67].

Ю. И. Ермилов пишет, что «полимерные полы химически устойчивы, достаточно прочные, выдерживают градации температур и значительные удары. Покрытие подбирается согласно требованиям, которые предъявляются к ним и особенностям технологических процессов на производстве. Эпоксидные производственные полы востребованы в пищевой промышленности. Это бюджетный вариант полимерного покрытия, обладающий меньшей эластичностью по сравнению с другими аналогами» [22, с.232].

Полиуретановые полы подойдут для предприятий, которые выдвигают требования повышенной устойчивости к механическим повреждениям и агрессивным препаратам. Для химических отраслей такие полы станут идеальным вариантом.

Метилметакрилатные полы выгодно выделяются среди прочих полимерных покрытий высокими эксплуатационными характеристиками. Такие полы пригодны к хождению по ним через 2 часа после заливки. Они выдерживает сильные градации температур в здании и может применяться в морозильных камерах.

На основании анализа научных работ можно разделить бетонные полы на:

1. Топпинговые полы - это полы, с упрочненным верхним слоем. На рисунке 2 показана технология устройства бетонных полов с топпингом. Бетонные полы с упрочненным верхним слоем (топпингом) имеют следующие достоинства:

- повышенную ударопрочность по сравнению с обычным бетонным

ПОЛОМ;

- износостойкость (пониженную истираемость), что повышает срок эксплуатации поверхности в несколько раз (это является основным достоинством данного типа покрытия);

- декоративность (данные полы отлично смотрятся в промышленном и техно дизайне);

- химическая пассивность (именно пассивность, а не химическая стойкость) - топпинг практически не вступает в реакции с химически активными веществами (однако их присутствие нежелательно);

- гигиеничность (поверхность имеет достаточно плотную структуру, исключающую появление пыли);

- легкость уборки.

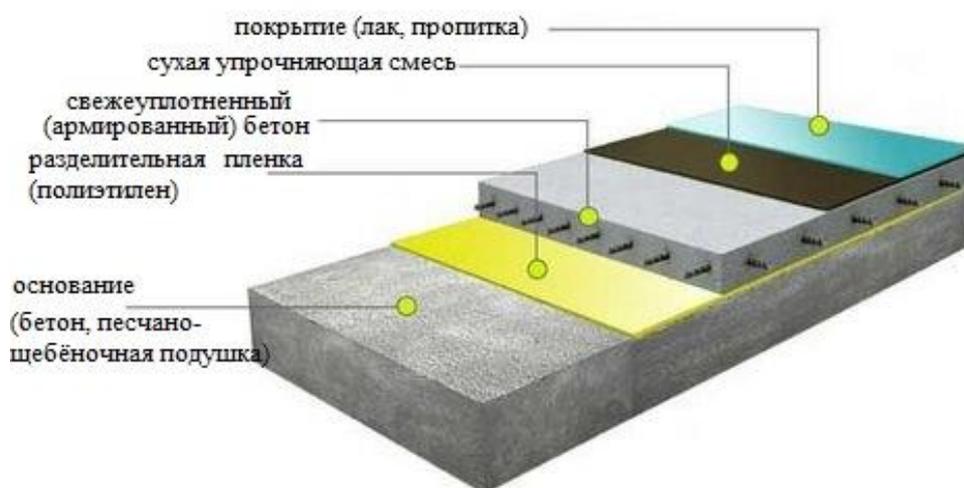


Рисунок 2 - Слои бетонных полов с топпингом

2. Полимерные полы - это высокопрочное покрытие, нанесенное на бетонное основание. На рисунке 3 показана технология устройства полимерных наливных полов. Такие полы имеют ряд преимуществ:

- прочные и долговечные;
- устойчивые к химическим веществам;
- герметичны;

- полностью обеспыленные;
- гигиеничны и просты в уходе;
- гладкие, ровные и не скользят.

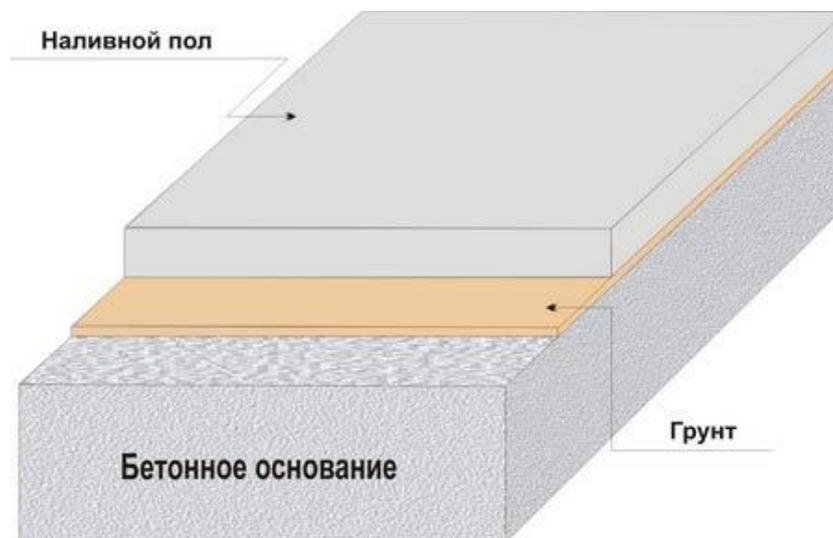


Рисунок 3 - Слои полимерных наливных полов

«По типу связующего, входящего в состав полимерного покрытия, выделим несколько видов наливных полов:

- полиуретановые;
- эпоксидные.

Полиуретановые наливные полы отличаются высокой эластичностью, прочностью на сжатие и растяжение, ударопрочностью. Кроме того, отлично противостоят вибрации, химическим воздействиям и перепадам температур, поэтому такие покрытия широко применяются в неотапливаемых помещениях с различного рода оборудованием. Эти покрытия подходят для производственных цехов, помещений с большой проходимостью людей. Это самые эластичные и ударопрочные покрытия, которые легко моются как ручным, так и автоматическим способом.

Эпоксидные наливные полы обладают высокой прочностью и влагостойкостью, отлично противостоят химическим веществам и механическим воздействиям. Эти покрытия наиболее актуальны в закрытых

помещениях с повышенной влажностью, где используются различного рода химикаты: кислоты, щелочи, растворители и другие. Эти покрытия подвергаются уборке водой, в том числе и горячей, и моющими составами. Мыть такие покрытия можно вручную или автоматическим способом.

Благодаря своим высоким техническим характеристикам и беспыльности, такие полы идеально подходят для следующих объектов: производственные цеха; складские помещения; гаражи, стоянки автомобилей; магазины и павильоны; торгово-выставочные залы; холодильные камеры; подсобные помещения и многие др». [6, с.128].

## **1.2 Оценка возможности применения дисперсно-армированных бетонов и сталефибробетона при устройстве полов**

Согласно СП 52-104-2006 «Сталефибробетонные конструкции» сталефибробетон является разновидностью дисперсно-армированного железобетона и изготавливается из тяжелого или мелкозернистого бетона (бетон-матрица), в котором в качестве арматуры используются стальные фибры, дисперсно и равномерно распределенные по объему бетона. Совместная работа бетона и стальных фибр обеспечивается сцеплением по их поверхности, анкерровкой фибры в бетоне за счет ее периодического профиля, кривизны в продольном и поперечном направлениях, а также наличием анкеров на концах фибр[45]. На рисунке 4 показаны конструктивные решения промышленных полов по грунтам.

Сталефибробетонные конструкции по виду армирования рассматриваются как:

- 1) фибробетонные - при расчетном армировании только фибрами, равномерно распределенными по объему элемента;
- 2) комбинированно армированные - при их расчетном совместном армировании стальными фибрами и стальной стержневой арматурой.

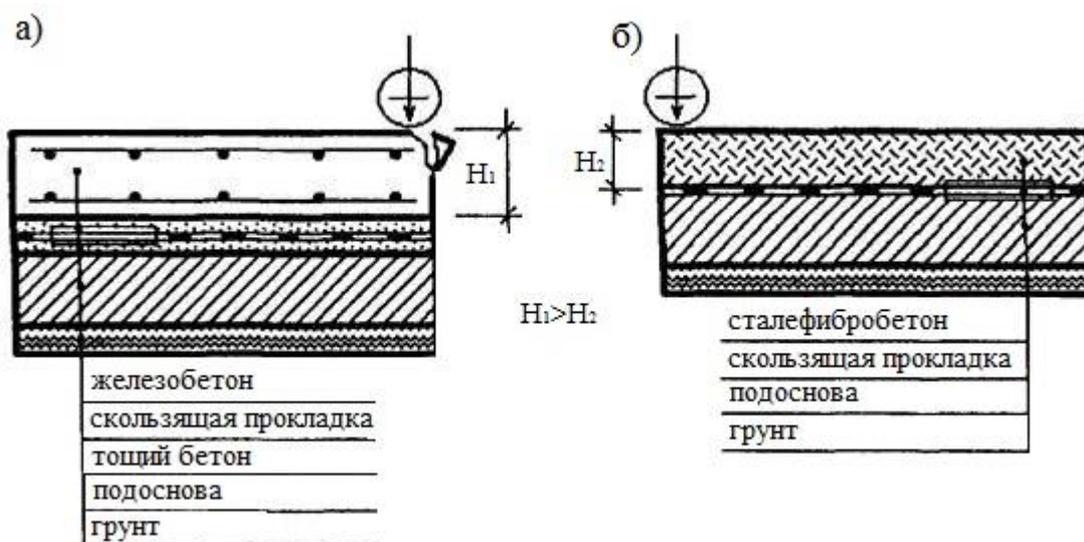


Рисунок 4 – Сравнительные конструктивные решения промышленных полов по грунтам:

а) традиционный железобетонный пол; б) сталефибробетонный пол

«Сталефибробетон рекомендуется применять для изготовления конструкций, в которых наиболее эффективно могут быть использованы следующие его технические преимущества по сравнению с традиционным бетоном и железобетоном:

- повышенные трещиностойкость, ударная прочность, вязкость разрушения, износостойкость, морозостойкость, сопротивление кавитации;
- пониженные усадка и ползучесть;
- возможность использования технологически более эффективных конструктивных решений, чем при традиционном стержневом армировании, например, тонкостенных конструкций, конструкций без стержневой распределительной, косвенной или поперечной арматуры;
- пониженные трудозатраты на арматурные работы;
- повышение степени механизации и автоматизации производства конструкций, например, в сборных тонкостенных оболочках, складках, ребристых плитах покрытий и перекрытий, сборных колоннах, балках, монолитных днищах и стенах емкостных сооружений, дорожных и

аэродромных покрытиях; монолитных плитах основания пола промышленных и общественных зданий;

– возможность применения новых, более производительных приемов формирования армированных конструкций, например, торкретирование, погипб свежеотформованных листовых изделий, роликовое прессование и др.» [33, с. 345].

Использование фибры в качестве армирующего компонента целесообразно при армировании как в тяжёлых, так и лёгких бетонах. Поэтому в качестве бетонной матрицы могут выступать такие материалы как, мелкозернистый бетон, цементный и гипсовый камень, а также пенобетон и различные разновидности ячеистых бетонов [45].

Направленная ориентация, как правило, характерна для непрерывного армирующего волокна, но при определенных технологических условиях возможна и при армировании короткими волокнами. Произвольная ориентация осуществляется в основном при армировании короткими волокнами, на практике выделяются следующие виды:

- плоско-произвольная, при которой волокна хаотично распределены в плоскости;
- объемно-произвольная, при которой волокна хаотично распределены во всем объеме бетона;
- пространственно-параллельная, при которой волокна располагаются параллельно друг относительно друга по всему объему бетона;
- стеснённо-произвольная, характеризующаяся ограничением возможности свободной ориентации [7].

Выбор материала и геометрии фибры, а также материала вяжущего во многом определяют технологический процесс производства.

Жёсткость и длина волокна влияют на выбор способа введения фибры. Поэтому для различных материалов волокон целесообразно применять разнообразные технологические процессы.

При выборе конструктивных решений сталефибробетонных конструкций следует учитывать методы их изготовления, монтажа и условия эксплуатации. Форму и размеры сечений элементов следует принимать исходя из наиболее полного учета свойств сталефибробетона, возможности заводского механизированного и автоматизированного изготовления, удобства транспортирования и монтажа элементов и конструкций.

М.И. Ольховая пишет, что сталефибробетонные конструкции могут изготавливаться различными технологическими приемами: предварительным приготовлением смеси в заводских условиях или в бетоносмесителях на строительном объекте, уплотнением с помощью вибрирования и вакуумирования, роликовым формованием и прессованием, торкретированием и центрифугированием [39].

В таблице 1 на основании работы В.М. Косарева мы сравниваем особенности обыкновенного бетона и сталефибробетона.

Способ армирования конструкционных материалов фиброй, как и другими типами арматуры, известен со второй половины XIX века. Впервые патент, регламентирующий прибавление к бетону отходов железа в гранулах,

Таблица 1 - Характерные особенности сталефибробетона и традиционного бетона [27]

Характеристики	Обычный бетон	Сталефибро-бетон
Напряжение, вызывающее трещинообразование на изгибе, МПа	2,0-5,5	3,5-15,5
Прочность на растяжение при изгибе, МПа	2,0-5,5	5,5-26,0
Прочность при сжатии, МПа	21,0-35,0	35,0-120,0
Прочность при сдвиге, МПа x 10 <sup>-5</sup>	2,0-3,5	2,5-5,5
Коэффициент теплового расширения	9,9-10,8	10,4-11,1

Прочность на удар, кг/см <sup>2</sup>	4,8	13,8
Показатель сопротивляемости истиранию	1	2
Предел ограниченной выносливости (предельные значения)	0,5-0,55	0,8-0,95
Показатель сопротивления трещинообразованию (при тестировании на теплостойкость)	1	7

был получен в 1874 году А. Берардом (A.Berard, США). С 1898 по 1933 гг. учеными из разных стран запатентовано несколько изобретений, относящихся к поиску оптимальной геометрии армирующего волокна, выбору материалов армирующего компонента и вяжущего, а также регламентирующие технологии изготовления фибробетона [15].

В 1950-х годах под руководством Ромуалди (Romualdi, Watson и Mandel) были опубликованы статьи (1963 г., 1964 г.) о механике трещинообразования для сталефибробетона, с чем, практически одновременно появилась возможность производства волокон из полимерных, минеральных, углеродных и т.д. материалов.

Таким образом, в 1970-х дисперсное армирование бетонов стальными волокнами стало жизнеспособной альтернативой стержневому армированию [16]. В связи с этим повысился интерес ученых к получению недорогих и прочных композиционных материалов, в том числе к технологиям изготовления фибробетонов. Направленная ориентация, как правило, характерна для непрерывного армирующего волокна, но при определенных технологических условиях возможна и при армировании короткими волокнами. Произвольная ориентация осуществляется в основном при армировании короткими волокнами, на практике выделяются следующие виды:

- плоско-произвольная, при которой волокна хаотично распределены в

плоскости;

- объемно-произвольная, при которой волокна хаотично распределены во всем объеме бетона;
- пространственно-параллельная, при которой волокна располагаются параллельно друг относительно друга по всему объему бетона;
- стесненно-произвольная, характеризующаяся ограничением возможности свободной ориентации [7].

Стальную фибру, как известно, производят из трех видов материалов: во-первых, из стальной низкоуглеродистой проволоки [40], во-вторых, из холоднокатаного стального листа и, наконец, в-третьих, из стальных слябов.

Так, можно выделить три вида металлической фибры: волновую, анкерную и фибру из прямых отрезков. Основные виды стальной фибры представлены на рисунке 5.



Рисунок 5 - Стальная фибра и ее виды

а) анкерная; б) волновая; в) в виде прямых отрезков [26]

Использование стальной фибры имеет ряд преимуществ перед применением классического армированного бетона. Так, при равномерном добавлении 25-50 кг/м<sup>3</sup> стальной фибры в бетонную смесь формируется трехмерная прочная структура бетонной смеси, обеспечивающая более качественное и надежное проведение строительных работ. Подобная трехмерная прочная структура выдерживает различные растяжения и

предотвращает разрывы микротрещин, которые чаще всего появляются из-за пагубного влияния влажной среды и/или усиленных нагрузочных процессов. В таблице 2 приведены базовые нормативные показатели по стальной резаной фибре, произведенной из стального холоднокатанного листа.

Использование фибры в качестве армирующего компонента целесообразно при армировании как в тяжёлых, так и лёгких бетонах. Поэтому в качестве бетонной матрицы могут выступать такие материалы как, мелкозернистый бетон, цементный и гипсовый камень, а также пенобетон и различные разновидности ячеистых бетонов [1].

Методами дисперсного армирования использование фибры предусматриваются возможности получения направленной и произвольной ориентации волокон в теле бетона.

Направленная ориентация, как правило, характерна для непрерывного армирующего волокна, но при определенных технологических условиях возможна и при армировании короткими волокнами. Технология укладки бетонных полов для промышленных нужд – сложный технологический процесс, выполнять который должны только профессионалы. Их заливают либо на существующее основание, либо непосредственно на грунт после тщательной трамбовки его по всей площади помещения. Старое основание нужно также тщательно подготовить: убрать выбоины, градации по высоте, трещины и прочие крупные дефекты ремонтным раствором. Сильно разрушенное основание рекомендуется полностью демонтировать, восстанавливать его нерентабельно.

Для укладки понадобятся такие инструменты и материалы [21]:

- бетон марки М400 и выше;
- маяки, арматура диаметром 1 см, проволока для связки;
- рулонные гидроизоляционные материалы, теплоизоляция;
- маяки, материалы для топпинга или другого полимерного настила;
- глубинный вибратор либо виброрейка;

Таблица 2 - Характеристики сопротивления растяжению, коэффициента надежности и расчетных сопротивлений растяжению для третьего вида стальной фибровой арматуры

Вид фибровой арматуры	Нормативные сопротивления растяжению $R_{fn}$ и расчетные сопротивления растяжению для предельных состояний второй группы $R_{f,ser}$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	Коэффициент надежности по фибровой арматуре $\gamma_f$ при расчете конструкций по предельным состояниям		Расчетные сопротивления растяжению фибровой арматуры для предельных состояний первой группы $R_f$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )
		Первой группы	Второй группы	
1	2	3	4	5
Стальная резаная фибра из стального холоднокатанного листа, изготовленная в соответствии с Техническими Условиями 0991-123-53832025-2001 из стали следующих марок				
Ст. 08 кп	460	1,05	1,0	440
Ст. 20	640	1,10	1,0	580

- бетонозаглаживающая машина;
- уровень, шпатель, малярный скотч, правило;
- прочие подсобные материалы.

Произвольная ориентация осуществляется в основном при армировании короткими волокнами, на практике выделяются следующие виды:

- плоско-произвольная, при которой волокна хаотично распределены в плоскости;
- объемно-произвольная, при которой волокна хаотично распределены

во всем объеме бетона;

- пространственно-параллельная, при которой волокна располагаются параллельно друг относительно друга по всему объему бетона;

- стеснённо-произвольная, характеризующаяся ограничением возможности свободной ориентации [7].

На рисунке 6 показан внешний вид фибры, изготовленной из полипропилена.



Рисунок 6 - Форма и текстура фибры, изготовленной из полипропилена [42]

Главными плюсами применения фибры, изготовленной из полипропилена, являются:

- улучшается сопротивление ударам, воздействию тяжелых предметов и др.;

- по сравнению с сеткой из металла полипропиленовая фибра более тщательно армирует раствор;

- полипропиленовая фибра образует единую массу;

- ей присуще более высокое сцепление с раствором;

- полипропиленовая фибра более устойчива к износу;

- она усиливает прочность бетона, когда он растягивается в изгибе;

- полипропиленовая фибра значительно усиливает морозостойкость;

- бетону, в котором присутствует фибра из полипропилена, свойственна более качественная адгезия;

- полипропилен блокирует микрокапилляры бетона, благодаря чему последний становится более водопроницаемым [43].

Поверх укладывают гидроизоляционную мембрану, которая защитит пол от грунтовых вод и различных жидкостей, протекающих через основание при возникновении аварий. Бетонная стяжка необходима для выравнивания поверхности, маскировки систем канализации и водопровода, подготовки к укладке финишного покрытия. Она распределяет нагрузку на низлежащие слои. На ее кладут специальную подложку для связки стяжки с финишным настилом. Вид финишного покрытия зависит от технологических моментов производства» [45, с.51].

Технология укладки бетонных полов для промышленных нужд – сложный технологический процесс, выполнять который должны только профессионалы. Их заливают либо на существующее основание, либо непосредственно на грунт после тщательной трамбовки его по всей площади помещения. Старое основание нужно также тщательно подготовить: убрать выбоины, градации по высоте, трещины и прочие крупные дефекты ремонтным раствором. Сильно разрушенное основание рекомендуется полностью демонтировать, восстанавливать его нерентабельно. Для укладки понадобятся такие инструменты и материалы [21]:

- бетон марки М400 и выше;
- маяки, арматура диаметром 1 см, проволока для связки;
- рулонные гидроизоляционные материалы, теплоизоляция;
- маяки, материалы для топпинга или другого полимерного настила;
- глубинный вибратор либо виброрейка;
- бетонозаглаживающая машина;
- уровень, шпатель, малярный скотч, правило;
- прочие подсобные материалы.

На рисунке 7 изображена фибра, изготовленная из полимерных волокон. Изготовленную из полимерных волокон фибру используют для того,

чтобы усилить прочностные свойства стяжек, а также для повышения прочности конструкций фундаментов различных зданий, перекрытий для мостов и т.д.

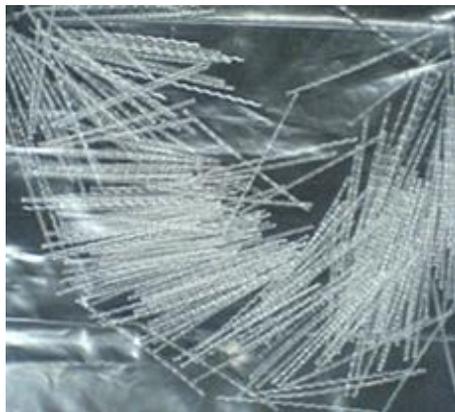


Рисунок 7 - Внешний вид фибры из полимерных волокон [44]

Применение фибры в качестве армирующего компонента целесообразно при армировании как в тяжёлых, так и лёгких бетонах. Поэтому в качестве бетонной матрицы могут выступать такие материалы как, мелкозернистый бетон, цементный и гипсовый камень, а также пенобетон и различные разновидности ячеистых бетонов [47].

Направленная ориентация, как правило, характерна для непрерывного армирующего волокна, но при определенных технологических условиях возможна и при армировании короткими волокнами.

Общий вид углеродной фибры размещен на рисунке 8.

Основными плюсами применения именно углеродной фибры являются следующие ее характеристики:

- повышенная степень сцепления данной фибры с цементной матрицей;
- волокна углеродной фибры не разрушаются после разных видов взаимодействия с окружающей средой;
- углеродная фибра является стойкой к солям, щелочным растворам и кислотам;
- для нее характерны высокие теплоизоляционные свойства;
- углеродная фибра делает бетон долговечным и очень прочным;

- хорошо противостоит повреждениям, связанным с перепадами температур;
- негорючая.



Рисунок 8 - Внешний вид фибры из углерода

Главным минусом использования углеволокна в качестве фибры является то, что стоит она недешево.

По словам М. Г. Курбатова, базальтовой фиброй называются фрагменты волокна, изготовленные из природного сырья — базальта (горная порода). Базальтовая фибра используется в строительстве для дисперсного армирования бетонных и других смесей. Волокна базальтовой фибры имеют следующие параметры: длина насчитывает от 1 мм до 150 мм, диаметр — от 20 мкм до 500 мкм. Данный вид фибры производят из расплавов магматической вулканической породы при высоком температурном режиме (он превышает тысячу четыреста градусов по Цельсию) [49].

На рисунке 9 представлено изображение внешнего вида традиционной базальтовой фибры.

Направленная ориентация, как правило, характерна для непрерывного армирующего волокна, но при определенных технологических условиях возможна и при армировании короткими волокнами. Произвольная ориентация осуществляется в основном при армировании короткими волокнами, на практике выделяются следующие виды:

- плоско-произвольная, при которой волокна хаотично распределены в плоскости;



Рисунок 9 - Внешний вид фибры, изготовленной из пород базальта [44]

- объемно-произвольная, при которой волокна хаотично распределены во всем объеме бетона;
- пространственно-параллельная, при которой волокна располагаются параллельно друг относительно друга по всему объему бетона;
- стеснённо-произвольная, характеризующаяся ограничением возможности свободной ориентации [7].

### **1.3 Технологии устройства полов промышленных зданий с повышенной износостойкостью**

Армированный пол из бетона, предназначенный для восприятия силовых нагрузок от оборудования и напольного транспорта в промышленных цехах, на складах, гражданских зданиях, паркингах и т.п., наиболее распространены как при строительстве новых зданий и сооружений, так и при реконструкции существующих. Прекрасные механические характеристики армированного бетона (железобетона) позволяют обеспечить таким полам требуемую сопротивляемость силовым нагрузкам в течение длительного времени [42].

Однако, по словам И. А. Лобанова, бетонные армированные полы не лишены ряда неисправимых недостатков, ограничивающих их применение без каких-либо защитных покрытий. При традиционном способе укладки бетонной смеси в конструкцию пола при помощи бетононасосов, обычно используют весьма подвижные бетонные смеси при их вибрационной укладке с

использованием глубинных или поверхностных вибраторов. При этом значительная часть воды и мелких фракций, перемещается в верхнюю часть бетонной плиты. Излишки воды испаряясь, образуют в этой части плиты дополнительные поры, капилляры и микротрещины, снижающие прочность бетона на сжатие и растяжение, и повышая способность поверхностного слоя бетона к повышенному пылеобразованию. Повышенная пористость бетона в верхней части плиты и относительное увеличение в этой части мелких фракций песка и цемента приводит к повышенной усадке бетона при твердении, а, следовательно и к повышенному трещинообразованию бетона в этой зоне, низкой морозостойкости бетона, а также к повышенной истираемости и пылению [43].

Недостатком традиционных бетонных полов является также систематическое разрушение бетона у организованных (искусственно создаваемых) температурно-усадочных швов, разделяющих полы на отдельные плиты. Ослабление зоны швов может происходить также вследствие дополнительной осадки основания при вымывании грунта в зоне шва. Это приводит к консольному варианту нагружения плиты пола, что в сочетании со значительными динамическими воздействиями транспорта приводит к появлению трещин в зонах швов с последующим разрушением этих зон [54].

Избежать указанных недостатков традиционных бетонных армированных полов возможно применив новое конструктивное решение пола – бетонные армированные полы со слоем износа из сталефибробетона. Такие полы представляют собой двухслойные бетонную плиту, нижний слой которой, армирован стержневой арматурой, а верхний слой, подверженный эксплуатационным нагрузкам, выполняется из сталефибробетона. Такая конструкция сочетает в себе преимущества как армированных полов с их высокой прочностью на сжатие и растяжение, способностью перераспределять усилия от сосредоточенных нагрузок на большие площади, так и сталефибробетона с его высокой прочностью на растяжение, повышенной

трещиностойкостью, ударной прочностью и износостойкостью, где указанные характеристики сталефибробетона используются наиболее эффективно.

Слой износа, выполненный из сталефибробетона еще более актуален при ремонте существующих сильно разрушенных бетонных полов, когда стоит вопрос о демонтаже или серьезном ремонте существующего пола. После соответствующей подготовки, укладка сталефибробетона в качестве верхнего слоя износа может не только весьма существенно снизить стоимость ремонта полов, но также сократить сроки ремонта. Направленная ориентация, как правило, характерна для непрерывного армирующего волокна, но при определенных технологических условиях возможна и при армировании короткими волокнами. Произвольная ориентация осуществляется в основном при армировании короткими волокнами, на практике выделяются следующие виды:

- плоско-произвольная, при которой волокна хаотично распределены в плоскости;
- объемно-произвольная, при которой волокна хаотично распределены во всем объеме бетона;
- пространственно-параллельная, при которой волокна располагаются параллельно друг относительно друга по всему объему бетона;
- стеснённо-произвольная, характеризующаяся ограничением возможности свободной ориентации [7].

При общей толщине бетонного пола 200-220 мм, слой износа обычно составляет 50-80 мм. Для менее тяжелых нагрузок, например, при устройстве или ремонте полов паркингов, слой износа может быть выполнен толщиной 40-50 мм, и при использовании напрягающего цемента – не более 35-40 мм [55]. В целях обеспечения совместной работы слоев бетонного пола, слой износа из сталефибробетона укладывается на еще не схватившийся бетон нижнего силового слоя с обязательной поверхностной вибрацией слоя износа. При поверхностном вибрационном уплотнении слоя износа происходит

проникновение сталефибробетона в бетон нижнего слоя на 10-15 мм с механическим смешиванием и сцеплением слоев и их химическое сращивание при совместной гидратации цемента и взаимопроникновения новообразований в контактной зоне [49]. Кроме того, при поверхностной вибрации верхнего слоя стальная фибра принимает преимущественно однонаправленное горизонтальное или близкое к нему положение по всей толщине слоя износа, что существенно повышает прочность сталефибробетона на растяжение. Технологическая схема устройства бетонных армированных полов со слоем износа из сталефибробетона приведена на рисунке 9.

Бетонная смесь для укладки в слой износа имеет состав компонентов аналогичный составу бетонной смеси нижнего слоя плиты пола. Для фибрового армирования слоя износа используется стальная фрезерованная фибра «Челябинка» или фибра «Харекс» с расходом 40-120 кг/м<sup>3</sup> бетонной смеси. Длина отрезной фибры должна быть по крайней мере в два раза больше

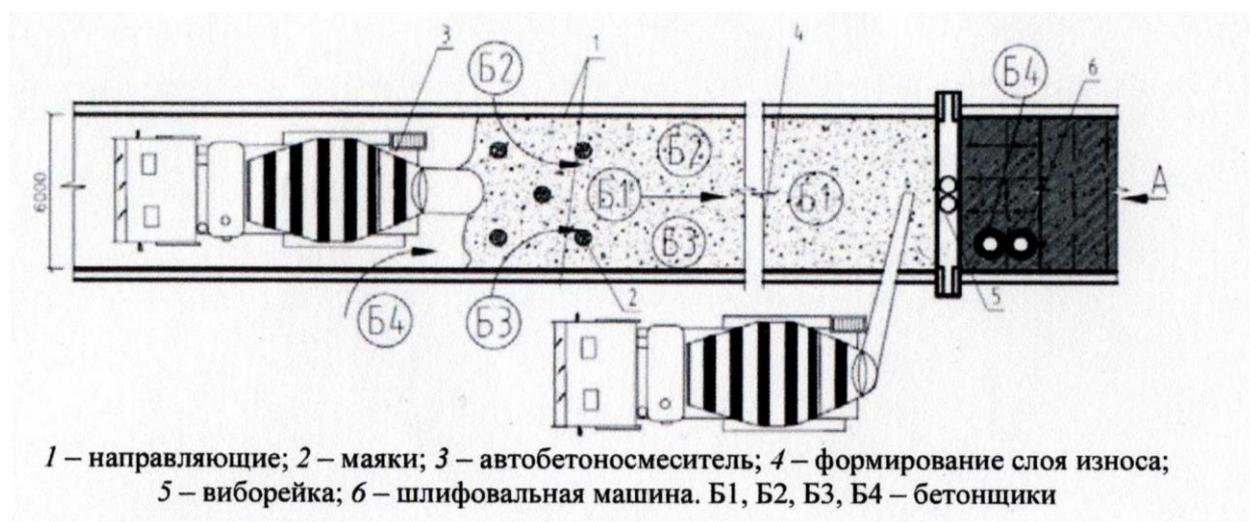


Рисунок 9 – Технологическая схема устройства бетонных армированных полов [46]

максимальной крупности заполнителя. При невысоких нагрузках на полы, слой износа может быть выполнен с применением базальтовой фибры взамен стальной (базальтофибробетон).

Для преодоления технологических трудностей, связанных с укладкой в конструкцию пола одновременно бетонной и сталефибробетонной смесей, бетонную смесь с включением стальной фибры (сталефибробетон) изготавливают непосредственно на месте укладки при помощи смесителей принудительного перемешивания. При этом все компоненты сталефибробетонной смеси пропускаются через весы, что обеспечивает требуемую точность дозирования. По достижению времени поверхность бетонного пола затирается двухроторными или однороторными бетонозатирающими машинами или подвергается шлифованию.

Слой износа, выполненный из сталефибробетона по описанной технологии, значительно улучшает физико-механические характеристики бетонного пола в целом, повышает параметры его долговечности, позволяет снизить как текущие, так и эксплуатационные расходы на полы. Применение применяемой технологии позволяет сократить расход арматурной стали на армирование пола на 10–20 % при общем сокращении затрат на 15-20% [47].

Для повышения устойчивости пола к пылеотделению, поверхность слоя износа может быть усилена топпингом (полы с упрочненным верхним слоем) или по этой поверхности выполнено полимерное покрытие (наливной или высоконаполненный полимерный пол).

В целях обеспечения хорошего контакта старого бетона со слоем износа, производится дробеструйная или пескоструйная (гидропескоструйная) обработка поверхности бетонной подложки. Толщина слоя сталефибробетона, укладываемая по существующему бетонному полу определяется нагрузками на пол и обычно составляет 40-100 мм. Укладка тонких слоев сталефибробетона (менее 50 мм), как правило, производится на клеевую подготовку из латекс-цементной смеси, эпоксидного или полиуретанового клея» [44, с. 97].

В.П. Рыбасов пишет, что значительные преимущества достигаются при укладке в слой износа песчаных базальтофибробетонов или базальтофибробетонов на крупных заполнителях с использованием взамен

портландцемента напрягающего цемента НЦ-20 или НЦ-10. Фибробетоны на напрягающем цементе имеют характеристики по износостойкости в 1,5-2,5 раза выше, чем бетоны на основе портландцемента. Такие полы практически не пылят даже без какого-либо защитного покрытия, часто достаточно лишь полимерной пропитки эпоксидными или полиуретановыми составами для обеспечения длительного срока службы таких полов без текущих и капитальных ремонтов. Базальтофибробетоны на основе напрягающих цементов за счет самоупрочнения, способны создавать покрытие бетонного пола высокой водонепроницаемости и трещиностойкости, а, следовательно, и долговечности [43].

Производство инженерных фибр (волокон) для армирования бетонов, растворов, стяжек, штукатурок, битумных материалов и др. включает в себя [42]:

- полиэфирную ПЭТ 6 мм, 12 мм, 20 мм;
- базальтовую 6 мм, 12 мм, 18 мм, 24 мм;
- полипропиленовую 12 мм, 20 мм.

Поверх укладывают гидроизоляционную мембрану, которая защитит пол от грунтовых вод и различных жидкостей, протекающих через основание при возникновении аварий. Бетонная стяжка необходима для выравнивания поверхности, маскировки систем канализации и водопровода, подготовки к укладке финишного покрытия. Она распределяет нагрузку на нижележащие слои. На ее кладут специальную подложку для связки стяжки с финишным настилом. Вид финишного покрытия зависит от технологических моментов производства» [45, с.51].

К. Глуховский утверждает, что классические бетонные полы с повышенными прочностными характеристиками внешнего слоя – наиболее востребованный тип пола для гаражей, СТО и автомоек. Их поверхность не пылит, прочна и надежна [17].

Наливные полы для промышленных зданий устойчивы к механическим повреждениям и химикатам. Они имеют более благородный вид по сравнению с топпингами, поэтому их устанавливают в торговых центрах, офисных компаниях, административных учреждениях.

По словам В. А. Голанцева полимерные полы востребованы в зданиях с повышенными требованиями гигиены: фармацевтических корпорациях, пищевой промышленности. Такая поверхность выдерживает систематическую уборку и инертна к агрессивным веществам. Магнезиальные покрытия являются бесшовными, они идеально подходят для складов и автопаркингов. Монтируемые разновидности укладывают в офисах, магазинах, торговых помещениях, ресторанах и кафе [18]. Данный тип полимерной поверхности не предназначен для интенсивной нагрузки с использованием различной техники.

Технология укладки бетонных полов для промышленных нужд – сложный технологический процесс, выполнять который должны только профессионалы. Их заливают либо на существующее основание, либо непосредственно на грунт после тщательной трамбовки его по всей площади помещения. Старое основание нужно также тщательно подготовить: убрать выбоины, градации по высоте, трещины и прочие крупные дефекты ремонтным раствором. Сильно разрушенное основание рекомендуется полностью демонтировать, восстанавливать его нерентабельно. Для укладки понадобятся такие инструменты и материалы [21]:

- бетон марки М400 и выше;
- маяки, арматура диаметром 1 см, проволока для связки;
- рулонные гидроизоляционные материалы, теплоизоляция;
- маяки, материалы для топпинга или другого полимерного настила;
- глубинный вибратор либо виброрейка;
- бетонозаглаживающая машина;
- уровень, шпатель, малярный скотч, правило;
- прочие подсобные материалы.

Бетонные армированные полы, предназначенные для восприятия силовых нагрузок от оборудования и напольного транспорта в промышленных цехах, на складах, гражданских зданиях, паркингах и т.п., наиболее распространены как при строительстве новых зданий и сооружений, так и при реконструкции существующих. Прекрасные механические характеристики армированного бетона (железобетона) позволяют обеспечить таким полам требуемую сопротивляемость силовым нагрузкам в течение длительного времени [42].

Однако, по словам И. А. Лобанова, бетонные армированные полы не лишены ряда неисправимых недостатков, ограничивающих их применение без каких-либо защитных покрытий. При традиционном способе укладки бетонной смеси в конструкцию пола при помощи бетононасосов, обычно используют весьма подвижные бетонные смеси при их вибрационной укладке с использованием глубинных или поверхностных вибраторов. При этом значительная часть воды и мелких фракций, перемещается в верхнюю часть бетонной плиты. Излишки воды испаряясь, образуют в этой части плиты дополнительные поры, капилляры и микротрещины, снижающие прочность бетона на сжатие и растяжение, и повышая способность поверхностного слоя бетона к повышенному пылеобразованию. Повышенная пористость бетона в верхней части плиты и относительное увеличение в этой части мелких фракций песка и цемента приводит к повышенной усадке бетона при твердении, а, следовательно и к повышенному трещинообразованию бетона в этой зоне, низкой морозостойкости бетона, а также к повышенной истираемости и пылению [43].

Таким образом недостатком традиционных бетонных полов является также систематическое разрушение бетона у организованных (искусственно создаваемых) температурно-усадочных швов, разделяющих полы на отдельные плиты. Ослабление зоны швов может происходить также вследствие дополнительной осадки основания при вымывании грунта в зоне шва.

## **2 Анализ эксплуатационных характеристик сталефибробетонных смесей**

### **2.1 Конструкционные параметры сталефибробетонных смесей со слоем износа**

Сталефибробетон, материал, получаемый при введении в бетонную смесь стальных волокон (фибр) известен давно. Он обладает повышенной, по сравнению с традиционными бетонами, прочностью на растяжение, трещиностойкостью, морозостойкостью, выносливостью при динамических и ударных нагрузках и, как следствие, долговечностью.

Поверх укладывают гидроизоляционную мембрану, которая защитит пол от грунтовых вод и различных жидкостей, протекающих через основание при возникновении аварий. Бетонная стяжка необходима для выравнивания поверхности, маскировки систем канализации и водопровода, подготовки к укладке финишного покрытия. Она распределяет нагрузку на нижележащие слои. На нее кладут специальную подложку для связки стяжки с финишным настилом. Вид финишного покрытия зависит от технологических моментов производства» [42, с.51].

К. Глуховский утверждает, что классические бетонные полы с повышенными прочностными характеристиками внешнего слоя – наиболее востребованный тип пола для гаражей, СТО и автомоек. Их поверхность не пылит, прочна и надежна [14].

Наливные полы для промышленных зданий устойчивы к механическим повреждениям и химикатам. Они имеют более благородный вид по сравнению с топпингами, поэтому их устанавливают в торговых центрах, офисных компаниях, административных учреждениях.

По словам В. А. Голанцева полимерные полы востребованы в зданиях с повышенными требованиями гигиены: фармацевтических корпорациях, пищевой промышленности. Такая поверхность выдерживает систематическую уборку и инертна к агрессивным веществам. Магнезиальные покрытия

являются бесшовными, они идеально подходят для складов и автопаркингов. Монтируемые разновидности укладывают в офисах, магазинах, торговых помещениях, ресторанах и кафе [15]. Данный тип полимерной поверхности не предназначен для интенсивной нагрузки с использованием различной техники.

Увеличение содержания фибры в бетонной смеси приводит к росту деформации при растяжении, однако существует максимум растяжимости после которого начинается снижение этого показателя с увеличением дозировки фибры. Такой максимум был получен для порошкового бетона на фибре длиной 12,7 мм с её содержанием 1,6 % при использовании волокна с длиной 16 мм. Это значение оказалось оптимальным и по прочности, и по предельной растяжимости. В случае длинной фибры оптимального содержания ее не было получено. По всей вероятности, оно лежит выше использованных в опытах значений.

Также подтверждено положительное влияние дисперсного армирования на ударную вязкость бетона. Независимо от типа бетона ударная вязкость резко возрастает с увеличением содержания фибры. Увеличение длины волокон также повышает ударную вязкость. Порошковые бетоны, содержащие по объему 3,24 % базальтовых волокон, имели ударную прочность в 3-3,5 раза выше, чем бетон контрольного состава (без дисперсного армирования). У тяжелых бетонов эти показатели различаются только в 2-2,5 раза.

Технология укладки бетонных полов для промышленных нужд – сложный технологический процесс, выполнять который должны только профессионалы. Их заливают либо на существующее основание, либо непосредственно на грунт после тщательной трамбовки его по всей площади помещения. Старое основание нужно также тщательно подготовить: убрать выбоины, градации по высоте, трещины и прочие крупные дефекты ремонтным раствором. Сильно разрушенное основание рекомендуется полностью демонтировать, восстанавливать его нерентабельно. Для укладки понадобятся такие инструменты и материалы [21]:

- бетон марки М400 и выше;
- маяки, арматура диаметром 1 см, проволока для связки;
- рулонные гидроизоляционные материалы, теплоизоляция;
- маяки, материалы для топпинга или другого полимерного настила;
- глубинный вибратор либо виброрейка;
- бетонозаглаживающая машина;
- уровень, шпатель, малярный скотч, правило;
- прочие подсобные материалы.

Для достижения наибольшей прочности при растяжении и изгибе необходимо придать волокнам объемно-параллельную ориентацию, так как их эффективная работа обусловлена полным восприятием растягивающих усилий при задании направления, сонаправленного действию растягивающего напряжения конструкции. Все изученные научные разработки по изготовлению фибробетонов не предлагают решения этой задачи для фибробетонов на основе минеральных волокон.

## **2.2 Анализ эксплуатационных характеристик сталефибробетонных смесей в слое износа**

Для достижения наибольшей прочности при растяжении и изгибе необходимо придать волокнам объемно-параллельную ориентацию, так как их эффективная работа обусловлена полным восприятием растягивающих усилий при задании направления, сонаправленного действию растягивающего напряжения конструкции. Все изученные научные разработки по изготовлению фибробетонов не предлагают решения этой задачи для фибробетонов на основе минеральных волокон.

Несмотря на существующие довольно долгое время научные исследования, в нашей стране отсутствуют нормативные документы, относящиеся к проектированию и применению фибробетонов на основе таких

волокон, как базальтовые. Кроме того, несмотря на действующие нормативы по проектированию и применению фибробетона, сегодня этот материал недостаточно развит в плане применения на рынке строительными организациями, несмотря на успешный зарубежный опыт.

При проведении экспериментальных исследований по изучению влияния способа перемешивания на прочность фибробетона был опробован принципиально новый тип смешивания в бегунковом смесителе. Предел прочности при изгибе фибробетонных образцов, изготовленных этим методом, выше на 5-12%, чем образцов, изготовленных в лопастном смесителе. Отсюда можно сделать вывод об эффективности применения этих устройств для обеспечения параллельной ориентации волокон в фибробетоне.

Также были опробованы устройства для придания фибре направленной ориентации. Предел прочности при изгибе фибробетонных образцов, изготовленных этим методом, выше на 5-12%, чем образцов, изготовленных в лопастном смесителе. Отсюда можно сделать вывод об эффективности применения этих устройств для обеспечения параллельной ориентации волокон в объеме, которая, целесообразна в конструкциях воспринимающих изгибающую нагрузку.

То есть существует значение дозировки фибры, которое является оптимальным. Оптимальное содержание армирующих волокон зависит от их длины, а также от состава бетона. В случае прочности при сжатии независимо от состава фибробетона и способа перемешивания, фактор водоцементного отношения доминирует над фактором процентного содержания армирующего волокна, и с увеличением доли фибры предел прочности при сжатии снижается.

Применение дисперсного армирования базальтовыми волокнами позволяет резко увеличить предельную растяжимость бетона, что является исключительно важным фактором с точки зрения его трещиностойкости. С увеличением длины волокон предельная растяжимость бетона возрастает. Увеличение содержания фибры в бетонной смеси приводит к росту

деформации при растяжении, однако существует максимум растяжимости после которого начинается снижение этого показателя с увеличением дозировки фибры. Такой максимум был получен для порошкового бетона на фибре длиной 12,7 мм с её содержанием 1,6 % при использовании волокна с длиной 16 мм. Это значение оказалось оптимальным и по прочности, и по предельной растяжимости. В случае длинной фибры оптимального содержания ее не было получено. По всей вероятности, оно лежит выше использованных в опытах значений.

В таблице 3 представлены основные характеристики стальной рубленой из проволоки фибры (вместе с размерами).

Стартовый модуль упругости данного вида фибровой арматуры  $E_f$  равен 2.105 МПа (Технические Условия 1211-205-46854090-2005) [1].

Таблица 3 - Базовые показатели фибры MIXARM

Тип фибры	Нормативные сопротивления растяжению $R_{fn}$ и расчетные сопротивления растяжению для предельных состояний второй группы $R_{f,ser}$ , МПа	Коэффициент надежности фибровой арматуры $\gamma_f$ при расчете конструкций по предельным состояниям		Расчетные сопротивления растяжению фибровой арматуры для предельных состояний первой группы $R_f$ , МПа
		Группа I	Группа II	
Фибра стальная рубленая из проволоки, изготавливаемая Акционерным Обществом «Северсталь-метиз» (ТУ 1211-205-46854090-2005)	1100	1,1	1,00	1050

Для того чтобы оптимально сопоставить показатели разнообразных видов

конструкций пола мы осуществили представленные ниже расчеты. При выполнении данных расчетов нами учитывались описанные далее свойства материалов, необходимых как для возведения конструкций плиты, так и подстилающего основания:

- бетон для конструкции плиты был выбран такой: тяжелый бетон класса В25 ( $E_b = 30\,000$  МПа,  $R_b = 14,5$  МПа,  $R_{bt} = 1,05$  МПа);

- фибровое армирование – им стала описанная выше стальная проволочная фибра MIXARM;

- из перечня стержневой арматуры мы обратили внимание на арматуру периодического профиля класса А400 ( $E_s = 30\,000$  МПа,  $R_s = 355$  МПа);

- в качестве грунтового основания были выбраны плотные пески средней величины.

Данные расчеты проводились в соответствии со сводом правил «Полы. Технические требования и правила проектирования, устройства, приемки, эксплуатации и ремонта» [44]. Данный документ предполагает применение «модели местных упругих деформаций с назначением в качестве характеристики жесткости основания коэффициента постели ( $K_0$ ). Пренебрегая для численного анализа различными факторами, влияющими на значение данного коэффициента, примем для дальнейших расчетов  $K_0 = 65$  МН/м<sup>3</sup>, что соответствует требованиям СП для песчаных грунтов средней крупности при отсутствии грунтовых вод» [44]. Предел прочности при изгибе фибробетонных образцов, изготовленных этим методом, выше на 5-12%, чем образцов, изготовленных в лопастном смесителе. Отсюда можно сделать вывод об эффективности применения этих устройств для обеспечения параллельной ориентации волокон в фибробетоне.

В соответствии с положениями российских стандартов, чтобы рассчитать конструкции бетонного пола, необходимо применить метод предельных состояний. Данный метод наиболее подробно и точно учитывает особенности их состояния, на которое определенное воздействие оказывают

эксплуатационные нагрузки.

Так, базовое уравнение прочности мы можем записать в виде:

$$Md < Mult, \quad (1)$$

где:  $M_d$  – расчетный изгибающий момент, который возникает в плите при действии расчетной нагрузки, кН·м;

$M_{ult}$  – предельно допустимый для рассматриваемого сечения изгибающий момент, кН·м.

При осуществлении расчетов конструкций пола из железобетона, учитывающих возможность увеличения трещин в размере, вместе с условием (1) также нужно не забыть о следующем условии (2):

$$acrc < acrc, ult, \quad (2)$$

где:  $a_{crc}$  – расчетная ширина раскрытия трещин в рассматриваемом сечении плиты при воздействии определенных эксплуатационных нагрузок, мм;

$a_{crc, ult}$  – предельно возможная ширина раскрытия трещин, принятая равной 0,3 мм.

Для расчета изгибающего момента  $M_1$  нужно согласно [3] применить следующую формулу:

$$M1 = PpK1, \text{ кН}\cdot\text{м}, \quad (3)$$

где:  $P_p$  – расчетная нагрузка на след, приложенная в расчетном центре, кН;

$K_1$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от отношений (4):

$$\alpha = \frac{\alpha p}{L}, \beta = \beta p/L, \quad (4)$$

где:  $\alpha_p$  и  $\beta_p$  – являются длиной и шириной расчетного следа, м;

$L$  – упругая характеристика гибкости плиты, которую можно посчитать, применив формулу (5):

$$L = 4\sqrt{B/K_0}, \text{ м}, \quad (5)$$

где:  $B$  – жесткость сечения плиты на единицу ширины сечения;

$K_0$  – эквивалентный коэффициент постели основания,  $\text{МН/м}^3$ .

Чтобы вычислить ширину увеличения трещин  $a_{\text{срс}}$  в расчетном сечении плиты, армированной ненапрягаемой арматурой, нужно произвести вычисления по следующей формуле [6]:

$$a_{\text{срс}} = 1000\psi b(\sigma_s/E_s)\alpha_c, \quad (6)$$

где:  $\psi_b$  – коэффициент, учитывающий работу бетона между трещинами в растянутой зоне;

$\sigma_s$  – величина напряжения в растянутой арматуре,  $\text{МПа}$ ;

$E_s$  – модуль упругости стержневой арматуры,  $\text{Мпа}$ ;

$\alpha_c$  – расстояние между трещинами,  $\text{м}$ .

Предельный изгибающий момент  $M_{\text{ult}}$  на единицу ширины сечения для разных видов конструкций, характерные черты которых мы рассмотрели ранее, можно рассчитать по следующим формулам (7), (8) и (9):

– для бетонных плит полов (в соответствии с упруго-пластическим моментом сопротивления):

$$M_{\text{ult}} = R_b b h^2 / 3,5, \quad (7)$$

– для железобетонных плит с ненапрягаемой арматурой:

$$M_{\text{ult}} = \gamma_c A_s R_s (h_0 - x/2), \quad (8)$$

– для плит, армированных фибровой арматурой:

$$Mult = Rfbbx0,5h, \quad (9)$$

где:  $R_{bt}$  – расчетное сопротивление бетона при сжатии, которое высчитывается расчетным путем [5];

$h$  – высота сечения, м;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы (для того, чтобы упростить вычисления считаем его равным единице);

$A_s$  – площадь сечения растянутой арматуры в рассматриваемом сечении, м<sup>2</sup>;

$R_s$  – расчетное сопротивление железобетона при сжатии, которое высчитывается расчетным путем [5];

$h_0$  – рабочая высота сечения, м;

$x$  – высота сжатой зоны бетона, м;

$R_{fb}$  – расчетное сопротивление СФБ при сжатии, которое высчитывается расчетным путем [5];

$b$  – ширина сечения, принимаемая равной одному метру;

Важным дополнительным условием, о котором нельзя забывать при создании проектов элементов из СФБ, называют ограничение по минимальному армированию. В производственных зданиях для полов рекомендуемое содержание фибр в конструкциях из СФБ равно 20–40 кг/м<sup>3</sup> ( $0,0025 \leq \mu_{fv} \leq 0,005$ ) [5].

Минимальные значения коэффициента фибрового армирования, в соответствии с нормативами [4] и [5], рекомендуется принимать, соблюдая следующее условие (10):

$$\mu_{min} = 1.5CRbt/Rfkor(1 - 30/Rf-lf, an/lf), \quad (10)$$

где:  $C$  – коэффициент, который для изгибаемых элементов считается равным 0,6;

$k_{or}$  – коэффициент ориентации, учитывающий ориентацию фибр в объеме элемента в зависимости от соотношения размеров сечения элемента и длины фибры, принимаемый интерполяцией значений [5];

$l_f$  – длина фибр; для используемой фибры  $l_f = 54$  мм;

$l_{f,an}$  – длина заделки фибры в бетоне, м, обеспечивающая ее разрыв при выдергивании, определяемая по формуле (11):

$$l_{f,an} = \eta_f d_f R_{f,ser} / R_{b,ser}, \quad (11)$$

где:  $\eta_f = 0,7$  – коэффициент, учитывающий анкеровку фибры;

$d_{f,red} = 1,0$  мм – приведенный диаметр используемой фибры;

$R_{f,ser} = 1100$  МПа – нормативное сопротивление растяжению фибр;

$R_{b,ser} = 1,55$  МПа – нормативное сопротивление бетона осевому растяжению.

Если подставить в формулу (11) указанные численные значения, то в результате получаются следующие данные:

$$l_{f,an} \approx 0,004968 \text{ м,}$$
$$\mu_{f,an} \approx 0,003665 (0,3665\%)$$

Минимальное массовое содержание стальной фибры в бетоне-матрице равно:

$$\mu_{f,m,min} \approx 28,77 \text{ кг/м}^3$$

Чтобы продолжить наши расчеты, возьмем  $30 \text{ кг/м}^3$  ( $\mu_{fv} = 0,00375\%$ ) как массовое содержание стальной фибры в бетоне. Это позволит соблюсти

условие содержание данного вида фибры в бетоне выше минимально подходящего уровня.

Так, данные расчёты подтверждают тезис об экономической выгоде использования СФБ при устройстве полов промышленных зданий с повышенной износостойкостью.

Выводы и расчеты по сравнительному анализу временных и денежных затрат представлены в таблицах 4 (см. приложение А), 5 и 6.

Таблица 5 - Сравнительный анализ показателей на возведение монолитных полов (в расчете на 100 м<sup>2</sup>)

Тип конструкции	Показатели		
	Трудоемкость, чел./час	Стоимость, руб./час	Оплата труда, руб.
Бетонная плита	36	360	12 960
СФБ-плита	27	360	9720
Отклонение	-9	0	-3240
Отклонение, %	-25	0	-25
Железобетонная плита	68	360	24 480
СФБ-плита	27	360	9720
Отклонение	-41	0	-14 760
Отклонение, %	-60	0	-60

Таким образом, нами был проведен сравнительный анализ различных вариантов конструкций пола, который показал, что экономически выгодным и эффективным при установке полов в промышленных (производственно-складских) зданиях является использование сталефибробетона. Если проводить сравнение с бетонной и железобетонной половыми плитами, то в результате наших подсчетов выяснилось, что применение сталефибробетона позволяет сэкономить бетон на 38% и 11% соответственно. Если проводить сравнение с

Таблица 6 - Сравнительный анализ затрат на возведение монолитных полов (на 100 м<sup>2</sup>)

	Бетонная плита	СФБ-плита	Отклонение		Ж/б плита	СФБ-плита	Отклонение	
			руб.	%			руб.	%
Общая цена, руб.	92 520	74 520	-18 000	-19	112 560	74 520	-38 040	-34

использованием традиционной железобетонной конструкции, то оказывается, что СФБ экономит сталь на 70%. Относительно трудозатрат мы также имеем положительные результаты: их экономия составила 60% по сравнению с железобетонной конструкцией и 25% по сравнению с бетонной конструкцией.

Итак, применение сталефибробетона при устройстве двухслойных полов промышленных зданий с повышенной износостойкостью позволило снизить себестоимость на 19% и 34% (если сравнивать с бетонными и железобетонными конструкциями). Важным итогом является и тот факт, что использование сталефибробетона значительно увеличивает скорость строительного процесса. Поскольку в нашей большой стране возводится достаточно много промышленных зданий, повсеместное применение сталефибробетона при устройстве двухслойных полов в таких типах зданий позволит сэкономить миллионы и миллиарды рублей.

### **2.3 Определение влияния технологических характеристик сталефибробетонной смеси на процессы устройства покрытия со слоем износа**

Выбор конструктивных решений сталефибробетонных конструкций следует производить, исходя из технико-экономической целесообразности применения таких конструкций в конкретных условиях строительства с учетом

максимального снижения их материало-, трудо-, энергоёмкости и стоимости, с учетом повышения долговечности и увеличения межремонтного ресурса.

Сталефибробетон рекомендуется применять в конструкциях зданий и сооружений, для которых существенное значение имеют снижение собственного веса, уменьшение раскрытия трещин, обеспечение водонепроницаемости бетона.

«Сталефибробетон рекомендуется для изготовления конструкций, в которых наиболее эффективно могут быть использованы следующие его технические преимущества по сравнению с традиционным железобетоном:

- повышенные трещиностойкость, ударная стойкость, вязкость разрушения, износостойкость, морозостойкость, сопротивление кавитации;
- пониженные усадка и ползучесть;
- возможность использования более эффективных конструктивных решений, чем при обычном армировании, например, тонкостенных конструкций, конструкций без стержневой или сетчатой распределительной и поперечной арматуры и др.

Направленная ориентация, как правило, характерна для непрерывного армирующего волокна, но при определенных технологических условиях возможна и при армировании короткими волокнами. Произвольная ориентация осуществляется в основном при армировании короткими волокнами, на практике выделяются следующие виды:

- плоско-произвольная, при которой волокна хаотично распределены в плоскости;
- объемно-произвольная, при которой волокна хаотично распределены во всем объеме бетона;
- пространственно-параллельная, при которой волокна располагаются параллельно друг относительно друга по всему объему бетона;
- стеснённо-произвольная, характеризующаяся ограничением возможности свободной ориентации [7].

Снижение трудозатрат на арматурные работы, повышение степени механизации и автоматизации производства железобетонных конструкций, например, в сборных тонкостенных оболочках, складках, ребристых плитах покрытий и перекрытий, сборных колоннах, балках, монолитных днищах емкостных сооружений, дорожных и аэродромных покрытиях; монолитных и сборных полах промышленных и общественных зданий и других» [31, с. 157].

Так, основываясь на зарубежном опыте, подкрепленном результатами российских испытаний, было определено, «что равномерное распределение стальных фибр в объеме матрицы, зависит от следующих факторов:

- размеров фибры (особенно отношения длины фибры к ее диаметру);
- коэффициента объемного армирования;
- марки по удобоукладываемости сталефибробетонной смеси по СТБ 1035-96;
- класса бетона матрицы по СТБ 1544-2005 (объема цементного теста);
- последовательности ввода компонентов и режима перемешивания сталефибробетонной смеси;
- способа подачи стальных фибр в смеситель;
- типа используемого смесителя» [22, с. 123].

Не рекомендуется разбавлять упрочнитель водой, это может ухудшить внешний вид готового пола и технические показатели самого упрочнителя. Для придания блеска готовому полу на него наносят специальный лак. Для повышения устойчивости покрытия к царапинам рекомендуется через несколько месяцев нанести его вновь.

Наливное покрытие промышленных зданий укладывают на подготовленное бетонное основание. Допускаются незначительные градации по высоте. Перед заливкой всю площадь обрабатывают грунтовкой глубокого проникновения и дают ей высохнуть в течение суток. Влажность основания перед заливкой должна составлять 5%. Смесь изготавливают строго по рекомендации производителя. Готовый раствор наливают частями рядом с

предыдущей порцией, контролируя толщину заливки. По окончании работы поверхность трамбуют специальным валиком с иглами, чтобы смесь равномерно просела, и из нее отделились воздушные пузырьки.

К. Глуховский утверждает, что классические бетонные полы с повышенными прочностными характеристиками внешнего слоя – наиболее востребованный тип пола для гаражей, СТО и автомоек. Их поверхность не пылит, прочна и надежна [17].

Наливные полы для промышленных зданий устойчивы к механическим повреждениям и химикатам. Они имеют более благородный вид по сравнению с топпингами, поэтому их устанавливают в торговых центрах, офисных компаниях, административных учреждениях.

По словам В. А. Голанцева полимерные полы востребованы в зданиях с повышенными требованиями гигиены: фармацевтических корпорациях, пищевой промышленности. Такая поверхность выдерживает систематическую уборку и инертна к агрессивным веществам. Магнезиальные покрытия являются бесшовными, они идеально подходят для складов и автопаркингов. Монтируемые разновидности укладывают в офисах, магазинах, торговых помещениях, ресторанах и кафе [18]. Данный тип полимерной поверхности не предназначен для интенсивной нагрузки с использованием различной техники.

Технология укладки бетонных полов для промышленных нужд – сложный технологический процесс, выполнять который должны только профессионалы. Их заливают либо на существующее основание, либо непосредственно на грунт после тщательной трамбовки его по всей площади помещения. Старое основание нужно также тщательно подготовить: убрать выбоины, градации по высоте, трещины и прочие крупные дефекты ремонтным раствором. Сильно разрушенное основание рекомендуется полностью демонтировать, восстанавливать его нерентабельно. Для укладки понадобятся такие инструменты и материалы [21]:

- бетон марки М400 и выше;

- маяки, арматура диаметром 1 см, проволока для связки;
- рулонные гидроизоляционные материалы, теплоизоляция;
- маяки, материалы для топпинга или другого полимерного настила;
- глубинный вибратор либо виброрейка;
- бетонозаглаживающая машина;
- уровень, шпатель, малярный скотч, правило;
- прочие подсобные материалы.

Поверх укладывают гидроизоляционную мембрану, которая защитит пол от грунтовых вод и различных жидкостей, протекающих через основание при возникновении аварий. Бетонная стяжка необходима для выравнивания поверхности, маскировки систем канализации и водопровода, подготовки к укладке финишного покрытия. Она распределяет нагрузку на низлежащие слои. На ее кладут специальную подложку для связки стяжки с финишным настилом. Вид финишного покрытия зависит от технологических моментов производства» [45, с.51].

К числу типов фибры выпускаемых РУП БМЗ наиболее устойчивых к появлению неоднородности (появление так называемых «ежей») смеси при приготовлении относятся:

- фибра анкерная с отношением равным 43; 50 и 60 (длина 30 мм, диаметр 0,5; 0,6 и 0,7 мм) при условии ее ввода не более 0,015 (1,5%);
- фибра анкерная с отношением равным 45 и 50 (длина 50 мм, диаметр 1,0 и 1,1 мм) при условии ее ввода не более 0,01 (1,0%);
- фибра анкерная с отношением равным 55 (длина 60 мм, диаметр 1,1 мм) при условии ее ввода не более 0,01 (1,0%);
- фибра волнового профиля с отношением равным 30; 31; 36 и 38 (длина соответственно 18; 22; 18; 15 мм, диаметры соответственно 0,6, 0,7, 0,5, 0,4 мм) при условии их ввода не более 0,005 (0,5% по объему или до 40 кг/м<sup>3</sup>);
- фибра прямая (микрофибра) с отношением равным 37 и 43 (длина 13 мм, диаметры соответственно 0,35; 0,3 мм) при условии их ввода в количестве

не более 0,015 (1,5% по объему);

– фибра прямая (микрофибра) с отношением равным 52 (длина 13 мм, диаметр 0,25 мм) при условии ее ввода в количестве не более  $\leq 0,01$  (1,0% по объему).

При приготовлении смесей с применением фибры с существенными ограничениями, следует применять механизированные способы, с использованием специальных устройств, обеспечивающих требуемую производительность (скорость) подачи и равномерное распределение фибры в бетоне при подаче в смеситель.

«На практике применяют два основных способа приготовления сталефибробетонной смеси:

– по традиционной технологии, т.е. равномерное введение фибровой арматуры в готовую бетонную смесь; смешивание фибры со смесью и выгрузка;

– приготовление сухой смеси (заполнители, вяжущее, фибра); подача воды и добавок в работающий смеситель; смешивание и выгрузка.

Наливные полы для промышленных зданий устойчивы к механическим повреждениям и химикатам. Они имеют более благородный вид по сравнению с топпингами, поэтому их устанавливают в торговых центрах, офисных компаниях, административных учреждениях.

Такая поверхность выдерживает систематическую уборку и инертна к агрессивным веществам.

Магнезиальные покрытия являются бесшовными, они идеально подходят для складов и автопаркингов. Монтируемые разновидности укладывают в офисах, магазинах, торговых помещениях, ресторанах и кафе [18]. Данный тип полимерной поверхности не предназначен для интенсивной нагрузки с использованием различной техники.

Их заливают либо на существующее основание, либо непосредственно на грунт после тщательной трамбовки его по всей площади помещения.

Старое основание нужно также тщательно подготовить: убрать выбоины, градации по высоте, трещины и прочие крупные дефекты ремонтным раствором.

Сильно разрушенное основание рекомендуется полностью демонтировать, восстанавливать его нерентабельно.

Бетонная стяжка необходима для выравнивания поверхности, маскировки систем канализации и водопровода, подготовки к укладке финишного покрытия. Она распределяет нагрузку на низлежащие слои. На ее кладут специальную подложку для связки стяжки с финишным настилом. Вид финишного покрытия зависит от технологических моментов производства» [45, с.51].

Второй способ специалисты и исследователи рекомендуют применять для бетонов с заполнителем крупного размера. И первый, и второй способ возможно использовать в обоих типах строительства (мы имеем в виду сборное и монолитное). В случае монолитного строительства рекомендуется использовать АБС, или автобетоносмесители, разумеется, в качестве смесителя.

«Технология приготовления смеси должна удовлетворять требованиям нормативно-технических документов, в том числе СНБ 5.03.02-03, СТБ 1035-96, СТБ 1545-2005, СТБ 1544-2005, СТБ1182-99.

Применяемые бетоносмесители и режимы перемешивания сталефибробетонной смеси различных марок по удобоукладываемости должны обеспечить получение однородной смеси с коэффициентом вариации прочности внутри замеса не более 10%.

Применение стационарных гравитационных смесителей и автобетоносмесителей для приготовления сталефибробетонной смеси с использованием стальной фибры «БМЗ» допускается с учетом необходимых ограничений по методике введения фибр, времени перемешивания. Наиболее оптимально осуществлять приготовление сталефибробетонной смеси в смесителях принудительного действия» [11, с.17].

Чтобы не допустить появления «ежей» из фибр, специалисты рекомендуют ограничивать домешивание введенной в матрицу фибры десятью-двенадцатью минутами. Так, необходимо быть внимательными на стройплощадке в момент введения фибры в автобетоносмеситель и в особенности во время процесса ее домешивания, так как слишком продолжительное время перемешивания создает условия для интенсивного появления уже упоминавшихся «ежей» [21, с.107].

### **3 Экспериментальные исследования технологических параметров устройства слоя износа и проверка его прочностных характеристик**

#### **3.1 Методика планирования, проведения лабораторных экспериментов, материалы и оборудование применяемые при этом**

Изготовление и испытание образцов производилось в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

В исследованиях использовалась фибра проволочная гладкая, токарная, листовая с анкерами на концах и фрезерованная. Для приготовления смеси выбрали метод перемешивания в бегунковом растворосмесителе. Вводили фибру постепенно в готовую цементно-песчаную смесь, с параллельной ориентацией за счет установленной в чаше стальной решетки. Решетка использовалась в виде стального листа с параллельно расположенными отрезками шириной 20 мм, толщиной 1 мм с шагом 20 мм. При этом сталефибробетонная смесь свободно проходила через нее.

Размеры лабораторных образцов были приняты 100×100×100 мм. Класс матрицы из мелкозернистого бетона на основе исследований авторов [10] был назначен В25, с соотношением компонентов: Ц:П=1:2,0; В/Ц = 0,40. Лабораторные образцы твердели в нормальных условиях, при  $t = 20^{\circ}\text{C}$ . За контрольные точки были взяты 7 и 28 сутки. Прочностные испытания образцов осуществлялось на универсальной машине Instron 3382 (рисунок 10).

Для испытания были использованы приспособления в соответствии с ГОСТ 10180 и 310.4.

При испытании велись наблюдения за характером разрушения образцов СФБ. Разрушение материала с проволочной и токарной фиброй проходило плавно и вязко без потери формы образца, с фрезерованной фиброй – хрупко с характерным треском и заметными разрушениями образца, с листовой фиброй – работа СФБ имела характер средний между СФБ с проволочной и

фрезерованной фиброй (рисунок 11).



Рисунок 10 – Внешний вид испытательной машины Instron [42]



Рисунок 11 - Образцы – кубы из сталефибробетона после проведения испытаний на прочность на сжатие: 1 - с листовой фиброй, 2 - из бетона, 3 - фрезерованной, 4 - токарной и 5 - проволочной фиброй

Характеристики образцов из контрольного состава (бетон) и составов с введенной стальной фиброй приведены в таблице 7.

Испытание на прочность на сжатие образцов кубов  $10 \times 10 \times 10$  см в возрасте 7 суток показало незначительные увеличения прочности образцов из СФБ по сравнению с контрольным образцом. Составы с введенными стальными фибрами имеют наибольшую прочность на сжатие в возрасте 28-ми

Таблица 7 – Характеристики образцов из контрольного состава и составов с введенной стальной фиброй при испытании на прочность на сжатие

Параметры	№	Контрольный образец (бетон)	Состав № 1 (Листовая фибра)	Состав № 2 (Фрезерованная фибра)	Состав № 3 (Токарная фибра)	Состав № 4 (Проволочная фибра)
Предел прочности на сжатие образца в возрасте 7 суток $R_{сж}$ (МПа)	1	32.64	33,84	33,14	34,05	34,16
	2	31.82	32,92	33,02	34,14	35,74
	3	32.18	33,45	34,23	35,27	34,84
	4	31.93	31,56	33,86	34,73	35,42
Предел прочности на сжатие образца в возрасте 28 суток $R_{сж}$ (МПа)	1	46.23	48,34	47,34	48,64	48,79
	2	45.85	47,02	47,17	48,77	51,06
	3	45.97	47,78	48,92	50,38	49,77
	4	45.62	45,08	48,37	49,61	50,61

суток, что выше, чем в контрольном образце. Также мы можем наблюдать, что СФБ смесь с проволочной фиброй показывает более высокие результаты по сравнению с другими видами фибр.

Также были проведены испытания на истираемость по методике ГОСТ 13087-81 «Бетоны. Методы определения истираемости» на кубических образцах на лабораторном круге истирания ЛКИ-3 (рисунок 12).

Данные исследования были проведены для качественной оценки влияния разного вида стальной фибры в составе сталефибробетона на его истираемость.

Для проведения эксперимента были использованы:

- 1) стальные фибры: проволочная, фрезерованная, токарная, листовая
- 2) бетон класса В25
- 3) абразивный материал - стандартный Вольский песок.

Расход стальной фибры был выбран: 25кг на 1 м<sup>2</sup> бетонной смеси. Исходя из работ других исследователей при введении до 25 кг стальной фибры на 1 м<sup>2</sup> бетона: истираемость снижается на 20 с 0,601 г/см<sup>2</sup> до 0,478 г/см<sup>2</sup>. Дальнейшее

же увеличение содержания фибры в сталефибробетоне с 25 кг до 100 кг позволяет снизить истираемость только на 18 % с 0,478 г/см<sup>2</sup> до 0,392 г/см<sup>2</sup>.



Рисунок 12 – Внешний вид ЛКИ-3 с испытуемыми образцами

Результаты испытаний СФБ на истираемость представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты испытаний образцов сталефибробетона на истираемость

Маркировка образца	Истираемость, г/см <sup>2</sup>	Средняя величина истираемости, г/см <sup>2</sup>
<b>Фибробетон с концентрацией фрезерованной фибры</b>		
Ф.1	0,77	0,8
Ф.2	0,79	
Ф.3	0,78	
Ф.4	0,79	
<b>Фибробетон с концентрацией листовой фибры</b>		
Л.1	0,85	0,8
Л.2	0,73	
Л.3	0,77	
Л.4	0,82	
<b>Фибробетон с концентрацией токарной фибры</b>		
Т.1	0,77	0,8
Т.2	0,76	
Т.3	0,77	
Т.4	0,78	

Фибробетон с концентрацией проволочной фибры		
П.1	0,70	0,7
П.2	0,66	
П.3	0,73	
П.4	0,68	

Значительное снижение истираемости можно наблюдать при введении в сталефибробетонную смесь проволочной фибры. Содержание такой фибры приводит к повышению прочностных характеристик и снижению истираемости по сравнению с образцами других фибр. Полученные результаты позволяют отнести сталефибробетон с проволочной фиброй к марке по истираемости G1 и рекомендовать для конструкций, работающих в условиях повышенной интенсивности движения и истирающего воздействия.

Использование технологии фибрового армирования позволяет существенно снизить время выполнения и трудоёмкость работ за счёт отказа от вязки арматуры и укладки сеток, а в ряде случаев - сэкономить строительные материалы за счёт достижения проектных характеристик при меньшей толщине и/или металлоёмкости конструкций.

Подбор оптимального состава сталефибробетона произведен методом математического планирования экспериментов. Оптимизацию состава производили почти в стационарной области, т.е. в области оптимума.

За оптимизируемую величину была принята прочность бетона на сжатие в возрасте двадцати восьми суток нормального твердения ( $R_{сж}^{28}$ ). Определение такого свойства бетона производили полиномом 2 порядка с 3 переменными факторами. За переменные факторы мы принимали следующие:

$X_1$  – дозировка суперпластификатора С-3, % от массы смешенного вяжущего;

$X_2$  – содержание золы-уноса, % от массы цемента;

$X_3$  – степень наполнения стальным волокном, % от массы смешенного вяжущего.

В осуществленных испытаниях реализовался план факторного эксперимента  $2^3$ . С центром эксперимента ( $X_0$ ) и интервалами варьирования переменных факторов ( $\Delta X_i$ ) можно ознакомиться в таблице 9. При назначении интервалов варьирования переменных факторов применялись полученные ранее результаты испытаний [25].

Таблица 9 - Начальные данные для планирования экспериментов

№ п/п	Исходные данные планирования	$X_1$	$X_2$	$X_3$
1	Центр эксперимента	2,0	10	4
2	Интервал варьирования	0,5	4	1
3	Верхний уровень	2,5	14	5
4	Нижний уровень	1,5	6	3
5	Звёздные точки: + $\alpha$ = +1,215 - $\alpha$ = - 1,215	2,61 1,39	14,8 5,2	5.2 2,8

По итогам осуществления ортогонального плана факторного эксперимента  $2^3$  мы получили следующие результаты (таблица 10).

Таблица 10 - Матрица планирования экспериментов и итоги исследований

№ серии	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y_{\text{экс}}$	$Y_{\text{расч}}$	$Y_{\text{расх}}$
1	-1	-1	+1	52,40	52,49	-0,09
2	+1	-1	-1	57,10	58,19	-1,09
3	-1	+1	-1	56,20	56,75	-0,55
4	-1	+1	+1	60,20	59,25	1,05
5	-1	-1	-1	57,10	57,69	-0,59
6	+1	-1	+1	58,00	58,19	-0,19

Продолжение таблицы 10

7	-1	+1	+1	56,70	56,75	-0,05
8	+1	+1	-1	62,40	62,53	-0,13
9	- 1,215	0	0	55,20	55,79	-0,59
10	+1,215	0	0	61,10	61,02	0,08
11	0	- 1,215	0	61,50	60,80	0,70
12	0	+1,215	0	62,10	62,47	-0,37
13	0	0	- 1,215	63,80	63,90	-0,10
14	0	0	+1,215	59,70	60,19	-0,49
15	0	0	0	62,30	62,40	-0,10

В результате математической обработки полученных во время испытаний данных были посчитаны коэффициенты уравнения, которые описывают прочность бетона на сжатие в возрасте двадцати восьми суток нормального твердения. Уравнение, которое было получено, представлено ниже (12):

$$R_{сж}^{28} = 62,3 + 2,82 X_1 + 1,30 X_2 + 2,07 X_3 - 2,95 X_1^2 - 0,88 X_2^2 - 1,75 X_3^2 - 1,23 X_1 X_2 X_3 \quad (12)$$

$R_{сж}^{28}$  производили графоаналитическим методом. Для этого были построены графические зависимости прочности бетона от группы технологических факторов. Анализ математической модели прочности бетона при введении МЗН на основе суперпластификатора С-3 позволил сделать следующие выводы:

– самым важным фактором в математической модели является дозировка добавки С-3 ( $X_1$ ), поскольку коэффициенты при  $X_1$  и  $X_1^2$  оказались самыми большими по абсолютной величине: +2,82 и –2,95. Различие в знаках при коэффициентах говорит о том, что центр эксперимента был выбран в области оптимума. Оптимальное значение дозировки суперпластификатора С-3 в составе составляет 2,1%;

– вторым по значимости фактором в математической модели является

фактор  $X_3$  – степень наполнения стальным волокном. При увеличении содержания металлического наполнителя в сталефибробетон прочность будет снижаться и вне пределов исследуемой области. Поэтому содержание стального волокна в сталефибробетоне следует ограничить из условия достижения прочности бетона класса В40. Исходя из этих соображений, максимальная степень наполнения бетона стальной фиброй должен быть равной 4 %;

– наименее значимым фактором в математической модели является фактор  $X_2$  - содержание золы-уноса в сталефибробетоне. Коэффициенты при  $X_2$  (+1,30) и  $X_2^2$  (- 0,88) также подтверждают, что центр эксперимента находится в области оптимума. Оптимальное значение содержание золы-уноса в сталефибробетоне находится путем исследования уравнения регрессии на экстремум по переменному -  $X_2$ . Выявленное оптимальное значение содержание золы-уноса в сталефибробетоне равняется 11 %.

Итак, использование золы-уноса, стального дисперсно-волокнутого наполнителя и суперпластификатора С-3 в мелкозернистых бетонных смесях и при двухстадийной технологии приготовления дает возможность получить высокопрочный бетон класса В40 на рядовом цементе марки М400.

### **3.2 Технология устройства покрытий с повышенной износостойкостью**

Смесь для производства мелкозернистого СФБ, включающая вяжущее, заполнитель, стальную фибру, суперпластификатор С-3, воду, отличается тем, что в качестве вяжущего используют вяжущее низкой водопотребности ВНВ-70 на основе отходов мокрой магнитной сепарации, а в качестве заполнителя - отсев дробления кварцитопесчаника фракции не более 5 мм и нижнеольшанский песок при следующих соотношениях компонентов смеси, кг/м<sup>3</sup> (таблица 11).

Применяется вяжущее низкой водопотребности ВНВ-70 на основе отходов мокрой магнитной сепарации и кремнезема, которые получают благодаря механоактивации отсева дробления кварцитопесчаника.

Отсев дробления кварцитопесчаника образуется при дроблении щебня. Он представляет собой частицы пылевидной фракции (не превышающей пяти миллиметров) с высоким содержанием кремнезема.

Таблица 11 – Компоненты смеси

№ п/п	Наименование компонента смеси	Количество, кг/м <sup>3</sup>
1	Вяжущее низкой водопотребности ВНВ-70	280-290
2	Отсев дробления кварцитопесчаника	860
3	Песок нижнеольшанский	540
4	Суперпластификатор С-3	1,6-1,7
5	Стальная фибра	60-65
6	Вода	остальное

Характерным свойством отсевов дробления можно считать угловатую форму зерен с высокоразвитой поверхностью, которые способствуют повышенной адгезии к ним цементного камня (рисунок 17).

При этом значительная часть воды и мелких фракций, перемещается в верхнюю часть бетонной плиты. Излишки воды испаряясь, образуют в этой части плиты дополнительные поры, капилляры и микротрещины, снижающие прочность бетона на сжатие и растяжение, и повышая способность поверхностного слоя бетона к повышенному пылеобразованию. Повышенная пористость бетона в верхней части плиты и относительное увеличение в этой

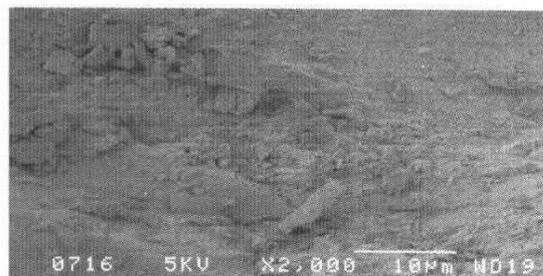


Рисунок 17 – Микрофотоснимок отсева дробления кварцитопесчанника

части мелких фракций песка и цемента приводит к повышенной усадке бетона при твердении, а, следовательно и к повышенному трещинообразованию бетона в этой зоне, низкой морозостойкости бетона, а также к повышенной истираемости и пылению [43].

Для оценки качества используемых заполнителей были проанализированы их физико-механические характеристики (таблица 12).

Таблица 12 - Физико-механические свойства наполнителей, а также заполнителей

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Отсев КВП	Отходы ММС	Нижнеольшанский песок
1	Модуль крупности, $M_{кр.}$	-	3,50	0,63	1,12
2	Насыпная плотность в неуплотненном состоянии, $\rho_{нас.}$	кг/м <sup>3</sup>	1415	1300	1467
3	Насыпная плотность в уплотненном состоянии, $\rho_{нас. упл.}$	кг/м <sup>3</sup>	1490	1630	1648
4	Истинная плотность, $\rho_{ист.}$	кг/м <sup>3</sup>	2710	3000	2630
5	Пустотность, $V_{м.п}$	%	47,8	59,3	44,2

6	Водопотребность, $V_{отс.}$	%	5,5	25	11
7	Цементопотребность, $C_{потр.}$	-	0,530	1,95	0,63

В качестве фибры была принята фибра стальная фрезерованная по технологии «VULKAN HAREX». Фибра имеет характерный синеватый оттенок - окисный слой, препятствующий в процессе ее хранения образованию и развитию коррозии. Длина фибры - 32 мм, ширина - 3,8 мм.

При проведении экспериментальных исследований по изучению влияния способа перемешивания на прочность фибробетона был опробован принципиально новый тип смешивания в бегунковом смесителе. Также были опробованы устройства для придания фибре направленной ориентации. Предел прочности при изгибе фибробетонных образцов, изготовленных этим методом, выше на 5-12%, чем образцов, изготовленных в лопастном смесителе. Отсюда можно сделать вывод об эффективности применения этих устройств для обеспечения параллельной ориентации волокон в объеме, которая, целесообразна в конструкциях воспринимающих изгибающую нагрузку.

После этого смесь механизированным, разумеется, не ручным способом была хорошо перемешана и посредством ручной работы укладывали в формы, которые были не только хорошо очищены, но и качественно смазаны маслом. Уплотнение фибробетонной смеси было выполнено на вибростоле до появления цементного молока (таблица 13).

Таблица 13 - Состав фибробетонной смеси

Состав смеси на $1 \text{ м}^3$	Состав 1	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Состав 2	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа
ВНВ-70	280	86,2	24,2	290	94,8	25,8

Отсев КВП	860	860	-	-	-	-
песок	540	540	-	-	-	-
С-3	1,6	1,7	-	-	-	-
фибра	60	65	-	-	-	-
вода	140	160	-	-	-	-

Исследования образцов для подсчета прочности на сжатие, на растяжение при изгибе и модуля упругости были осуществлены на машине УММ-10 по стандартной методике на двадцать восьмые сутки.

Созданный состав СФБ с применением вяжущего низкой водопотребности (ВНВ-70) и отсева дробления кварцитопесчаника дал возможность вывести бетоны с пределом прочности при сжатии 94,8 МПа, с прочностью на изгиб до 25,8 МПа, что выше на четверть в сравнении с прототипом.

СФБ образцам характерны высокие показатели названных выше свойств. Они могут найти значительное применение при изготовлении СФБ изделий совершенно разного ассортимента. Калькуляция трудозатрат представлена в таблице П.Б.1 (см. приложение Б).

Трудозатраты вычисляются по формуле (13):

$$T_p = \frac{N_{вр} \times V \times K_n}{t_{см}} = \frac{0,62 \times 873,6 \times 1,18}{8} = 79,89 \text{ чел./см}, \quad (13)$$

где:  $N_{вр}$  – норма времени, чел/час или маш/час;

$V$  – объем работ;

$t_{см} = 8$  ч – продолжительность смены.

Продолжительность работ мы считаем по представленной ниже формуле (14):

$$П_{см} = \frac{H_{вр} \times V \times Kn}{R \times t_{см} \times n} = \frac{0,62 \times 873,6 \times 1,18}{2 \times 8 \times 4} = 9,98 \text{ см}, \quad (14)$$

где R – количественный состав звена;

n – количество звеньев.

Поскольку мы устанавливаем горизонтальные и вертикальные арматурные сетки и каркасы, следовательно нам нужно вычислить продолжительность работ, а также затраты трудовых ресурсов и для вертикальных каркасов, и для горизонтальных сеток.

$$p.г = \frac{H_{вр} \times V \times Kn}{t_{см}} = \frac{0,42 \times 70 \times 1,18}{8} = 4,34 \text{ маш./ч} \quad (15)$$

$$T_{р.в} = \frac{H_{вр} \times *V \times Kn}{t_{см}} = \frac{0,79 \times 140 \times 1,18}{8} = 16,3 \text{ маш./ч} \quad (16)$$

$$П_{см.г} = \frac{H_{вр} \times V \times Kn}{R \times t_{см} \times n} = \frac{0,42 \times 70 \times 1,18}{2 \times 8 \times 2} = 1,08 \text{ см} \quad (17)$$

$$П_{см.в.} = \frac{H_{вр} \times V \times Kn}{R \times t_{см} \times n} = \frac{0,79 \times 140 \times 1,18}{2 \times 8 \times 2} = 4,07 \text{ см} \quad (18)$$

$$П_{см.} = (1,08 + 4,07) / 2 = 5,15 \text{ см} \quad (19)$$

Объем работ по укладке бетонной смеси автобетононасосом:

$$T_p = \frac{H_{вр} \times V \times Kn}{t_{см}} = \frac{0,34 \times 219,1 \times 1,18}{8} = 10,2 \text{ маш./см} \quad (20)$$

$$П_{см} = \frac{H_{вр} \times V \times Kn}{R \times t_{см} \times n} = \frac{0,34 \times 219,1 \times 1,18}{1 \times 8 \times 4} = 1,37 \text{ см} \quad (21)$$

Объем работ по покрытию бетонной поверхности утеплителем:

$$T_p = \frac{H_{вп} \times V \times Kn}{t_{см}} = \frac{0.21 \times 35,36 \times 1,18}{8} = 1,1 \text{ чел./см} \quad (22)$$

$$П_{см} = \frac{H_{вп} \times V \times Kn}{R \times t_{см} \times n} = \frac{0.21 \times 35,36 \times 1,18}{1 \times 8 \times 2} = 0,55 \text{ см} \quad (23)$$

Объем работ по снятию с бетонной поверхности утеплителя:

$$T_p = \frac{H_{вп} \times V \times Kn}{t_{см}} = \frac{0.22 \times 35,36 \times 1,18}{8} = 1,45 \text{ чел./см} \quad (24)$$

$$П_{см} = \frac{H_{вп} \times V \times Kn}{R \times t_{см} \times n} = \frac{0.22 \times 35,36 \times 1,18}{1 \times 8 \times 2} = 0,57 \text{ см} \quad (25)$$

Объем работ по разборке деревянной опалубки:

$$T_p = \frac{H_{вп} \times V \times Kn}{t_{см}} = \frac{0.15 \times 873,6 \times 1,18}{8} = 19,3 \text{ чел./см} \quad (26)$$

$$П_{см} = \frac{H_{вп} \times V \times Kn}{R \times t_{см} \times n} = \frac{0.15 \times 873,6 \times 1,18}{2 \times 8 \times 4} = 2,4 \text{ см} \quad (27)$$

### **3.3 Техничко-экономическая эффективность технологии устройства покрытий с повышенной износостойкостью**

Для того чтобы провести сопоставление технических, а также экономических показателей разных видов конструкций полов промышленных зданий с повышенной износостойкостью мы выполнили представленные ниже расчеты. При данных расчётах были особо отмечены описанные далее свойства примененных материалов как конструкции плиты, так и использованного в работе подстилающего основания:

- бетон плиты – тяжелый бетон класса В25 ( $E_b = 30\,000$  МПа,  $R_b = 14,5$  МПа,  $R_{bt} = 1,05$  МПа);
- фибровое армирование – стальная проволочная фибра MIXARM;

- стержневая арматура – периодического профиля класса А-III (А400) ( $E_s = 30\ 000$  МПа,  $R_s = 355$  МПа);

- грунтовое основание – пески средней крупности, плотные.

Расчеты были произведены согласно СП 29.13330.2011 Полы. Актуализированная редакция СНиП 2.03.13-88 (с Изменением N 1) [44], которые предполагают применение модели местных упругих деформаций с назначением в качестве свойства жесткости основания коэффициента постели ( $K_0$ ). Примем соответствующий правилам [3]  $K_0 = 65$  МН/м<sup>3</sup> для песчаного грунта средней крупности при условии полного отсутствия вод в грунтах.

Каждому из вариантов в качестве расчетной была определена такая сосредоточенная нагрузка, которая равнялась  $P_p = 100$  кН. Данная нагрузка была одинаково распределена по прямоугольному следу, размер которого можно вычислить по следующей простой формуле  $a \times b = 0,1 \text{ м} \times 0,1 \text{ м}$  ( $0,01 \text{ м}^2$ ). Параметры подобной нагрузки можно в абсолютной мере считать свойственными большинству объектов (имеются в виду объекты промышленные). Коэффициент надежности ( $\gamma_f$ ) по нагрузке мы принимаем равным одной целой и двум десятым. Чтобы упростить подсчеты, примем за единицу коэффициент условий работы ( $\gamma_c$ ). Стоит особо отметить, что воздействие смежных нагрузок в наших расчетах учтено не было [4].

В соответствии с нормативной документацией Российской Федерации конструкции бетонных полов достоинство стальных волокон заключается не только в высоких физико – механических характеристиках, но и в технологии изготовления изделий. Процесс перемешивания происходит на строительных площадках в бетономешалках, это сокращает время изготовления практически в два раза и способствует снижению материалоемкости и уменьшению веса зданий и сооружений [3]. Но при использовании сталефибробетонов не достигается главная цель – экономия такого материала как металл в конструкциях.

Проведены исследования по влиянию металлической фибры на свойства

мелкозернистого бетона на основе отходов дробления карбонатных пород. Данными исследованиями была подтверждена перспективность использования металлической фибры в качестве дисперсно-армированного мелкозернистого бетона на основе отходов дробления карбонатных пород.

В отличие от классических промышленных полов, полы из сталефибробетона имеют ряд преимуществ:

- трещиностойкость, препятствует образованию трещин.
- стойкость к коррозионному воздействию;
- экономия времени, так как установка металлического стержневого каркаса более трудоемкий и затратный по времени процесс.

- возможность производства целостных бесшовных бетонных конструкций. При использовании стальной фибры в измерении 40 кг к 1 м<sup>3</sup> бетона и толщине бетонной плиты 150 мм швы должны резаться с размером шага 30×30м.

Бетонные полы, армированные стальной фиброй, более прочные. А также они обходятся значительно дешевле, чем традиционные, армированные металлическими стержнями. Промышленные полы с использованием сталефибробетона имеют только положительные свойства и преимущественные характеристики.

Так, применение сталефибробетона при устройстве двухслойных полов промышленных зданий с повышенной износостойкостью оказалось экономически эффективным.

Таким образом, нами был проведен сравнительный анализ различных вариантов конструкций пола, который показал, что экономически выгодным и эффективным при установке полов в промышленных (производственно-складских) зданиях является использование сталефибробетона. Если проводить сравнение с бетонной и железобетонной половыми плитами, то в результате наших подсчетов выяснилось, что применение сталефибробетона позволяет сэкономить бетон на 38% и 11% соответственно. Если проводить сравнение с

использованием традиционной железобетонной конструкции, то оказывается, что СФБ экономит сталь на 70%. Относительно трудозатрат мы также имеем положительные результаты: их экономия составила 60% по сравнению с железобетонной конструкцией и 25% по сравнению с бетонной конструкцией.

Итак, применение сталефибробетона при устройстве двухслойных полов промышленных зданий с повышенной износостойкостью позволило снизить себестоимость на 19% и 34% (если сравнивать с бетонными и железобетонными конструкциями). Важным итогом является и тот факт, что использование сталефибробетона значительно увеличивает скорость строительного процесса. Поскольку в нашей большой стране возводится достаточно много промышленных зданий, повсеместное применение сталефибробетона при устройстве двухслойных полов в таких типах зданий позволит сэкономить миллионы и миллиарды рублей.

## Заключение

В результате проделанной работы решены следующие задачи: рассмотрены теоретические аспекты исследования покрытий полов промышленных зданий; проведен анализ эксплуатационных характеристик сталефибробетонных смесей; проведены исследования сталефибробетонных смесей с введением различных видов стальных фибр на прочность на сжатие и истираемость образцов.

Технология производства фибробетона в большей степени зависит от таких факторов, как способ введения и смешивания, время смешивания, геометрические и деформативные характеристики волокон, которые влияют на распределение и ориентацию волокон в объеме, и, следовательно, на физико-механические свойства фибробетона. При этом значительная часть воды и мелких фракций, перемещается в верхнюю часть бетонной плиты. Излишки воды испаряясь, образуют в этой части плиты дополнительные поры, капилляры и микротрещины, снижающие прочность бетона на сжатие и растяжение, и повышая способность поверхностного слоя бетона к повышенному пылеобразованию. Повышенная пористость бетона в верхней части плиты и относительное увеличение в этой части мелких фракций песка и цемента приводит к повышенной усадке бетона при твердении, а, следовательно и к повышенному трещинообразованию бетона в этой зоне, низкой морозостойкости бетона, а также к повышенной истираемости и пылению. Ослабление зоны швов может происходить также вследствие дополнительной осадки основания при вымывании грунта в зоне шва. Это приводит к консольному варианту нагружения плиты пола, что в сочетании со значительными динамическими воздействиями транспорта приводит к появлению трещин в зонах швов с последующим разрушением этих зон [54].

Такие полы представляют собой двухслойные бетонную плиту, нижний слой которой, армирован стержневой арматурой, а верхний слой,

подверженный эксплуатационным нагрузкам, выполняется из сталефибробетона.

Проведен сравнительный анализ различных вариантов конструкций пола, который показал, что экономически выгодным и эффективным при установке полов в промышленных (производственно-складских) зданиях является использование сталефибробетона. Если проводить сравнение с бетонной и железобетонной половыми плитами, то в результате наших подсчетов выяснилось, что применение сталефибробетона позволяет сэкономить бетон на 38% и 11% соответственно. Если проводить сравнение с использованием традиционной железобетонной конструкции, то оказывается, что СФБ экономит сталь на 70%. Относительно трудозатрат мы также имеем положительные результаты: их экономия составила 60% по сравнению с железобетонной конструкцией и 25% по сравнению с бетонной конструкцией.

При проведении экспериментальных исследований по изучению влияния способа перемешивания на прочность фибробетона был использован метод смешивания в бегунковом смесителе. Также были опробованы устройства для придания фибре направленной ориентации. Здесь можно сделать вывод об эффективности применения этих устройств для обеспечения параллельной ориентации волокон в объеме, которая, целесообразна в конструкциях, воспринимающих изгибающую нагрузку.

Подтверждено положительное влияние дисперсного армирования на прочность и истираемость бетона. Значительное снижение истираемости можно наблюдать при введении в сталефибробетонную смесь проволочной фибры. Содержание такой фибры приводит к повышению прочностных характеристик и снижению истираемости по сравнению с образцами других фибр. Полученные результаты позволяют отнести сталефибробетон с проволочной фиброй к марке по истираемости G1 и рекомендовать для конструкций, работающих в условиях повышенной интенсивности движения и истирающего воздействия.

## Список используемой литературы

1. Арончик, В. Б. К вопросу о методе косвенного испытания растяжения для бетонов, армированных волокнами [Текст]/ В. Б. Арончик, О. В. Коротышевский, Р. К. Глуде // Фибробетон и его применение в строительстве: сб. науч. тр. – М.: НИИЖБ, 2016. – С. 122 - 125.

2. Боровских, Н.Н. Прочность при осевом сжатии элементов, армированных фибрами и стержневой арматурой различных классов [Текст]/ Н.Н. Боровских // Гражданское строительство и архитектура: экспресс – информация. Отечественный производственный опыт, М.: ЦНТИ по строительству и архитектуре, 2015. С.4 -12.

3. Батраков, В. Г. Модифицированные бетоны [Текст]. Теория и практика. 2-е изд., перераб. и дополн. М., 2015, 768 с.

4. Волков, И.В. Фибробетон – состояние и перспективы применения в строительных конструкциях [Текст]// Строительные материалы. – 2014.– № 6. – С. 5–7.

5. Войлоков, И.А. Вопросы обеспечения долговечности и эксплуатационной надежности полов производственных зданий [Текст]/ И.А. Войлоков, А.М. Горб // Склад и техника. -№4. -2010. -С.38-43.

6. Войлоков, И.А. Вопросы повышения эксплуатационной надежности швов в бетонных полах промышленных зданий [Текст]/ И.А. Войлоков, А.М. Горб // Склад и техника. -№3. -2010. -С.40-43.

7. Войлоков, И.А. Применение композитов на основе дисперсно армированных бетонов при устройстве полов в зданиях производственно складского назначения [Текст]/И.А. Войлоков, А.М. Горб // Мир строительства и недвижимости. – №33. -2014. -С.27-33.

8. Взаимосвязь ориентации фибр и прочности на сжатие сталефибробетона [Текст]/ В. К. Кравинскис [и др.] // Проектирование и оптимизация конструкций инженерных сооружений. – Рига: РПИ, 2015. -157 с.

9. Волков, И. В. Фибробетонные конструкции [Текст]/ И. В. Волков. – М., 2018. – 33 с.

10. Волков, И.В. Инженерные методы проектирования фибробетонных конструкций [Текст]/ И.В. Волков, Э.М. Газин, В.В. Бебекин //Бетон и железобетон. – 2017. № 4. – С. 20 – 22.

11. ВСН 56-97. Ведомственные строительные нормы по проектированию и основным положениям технологий производства фибробетонных конструкций[Текст]. – М.: НИЦ «Строительство», 2017. – 174 с.

12. Волков, И.В. Фибробетонные конструкции[Текст]. Обзорная информация. Серия «Строительные конструкции». Вып. 2. М.: ВНИИС, 2018. 33 с.

13. Вылекжанин, В.П. О совместной работе стержневой и фибровой арматуры в изгибаемых сталефиброжелезобетонных элементах [Текст] / В. П. Вылекжанин, В. И. Григорьев // Исследование и расчет новых типов пространственных конструкций гражданских зданий: сб. науч. тр. – М.: ЛЕНЗНИИЭП, 2015. – С. 39 - 97.

14. Глуховский, К. Фибробетон: экономия материалов и затрат [Текст]/ К. Глуховский // На стройках России. – 2017. – № 9. – С. 48 - 99.

15. Голанцев, В.А. Свойства и особенности полиармированных фибробетонов[Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. А. Голанцев. – М., 2016. – 120 с.

16. Григорьев, В.И. О коэффициенте динамического упрочнения сталефибробетона при растяжении [Текст] / В.И. Григорьев //Исследование и расчет новых типов пространственных конструкций гражданских зданий: сб. научн. трудов. М.: ЛЕНЗНИИЭП, 2015. – С.88 - 95.

17. Гулимова, Е. В. Исследования коррозионной стойкости арматуры в сталефибробетоне[Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е. В. Гулимова. – М., 2010. – 123 с.

18. Евсеев, Б. А. Оборудование для производства металлической

фибровой арматуры и бетонной смеси [Текст]/ Б. А. Евсеев, Н. Ф. Кромская, О. А. Дейруп // Фибробетон и его применение в строительстве: сб. науч. тр. – М.: НИИЖБ, 2017. С. 48 - 104.

19. Ермилов, Ю. И. Тонкостенные сталефибробетонные конструкции в гражданском строительстве [Текст]/ Ю. И. Ермилов. – М., 2017. – 455 с.

20. Зива, А. Г. Деформативность, трещиностойкость и раскрытие трещин в изгибаемых предварительно напряженных элементах с применением сталефибробетона [Текст]/ А. Г. Зива, Б. В. Соловьев // Исследования по строительной механике и строительным конструкциям: тем. сб. науч. тр. – Челябинск, 2018. – С. 11 - 113.

21. Кузнецова, Т. В. Специальные цементы [Текст]. СПб, Стройиздат, 2017. - 314 с.

22. Копацкий, А. В. Коррозионная стойкость сталефибробетонных конструкций [Текст]/ А. В. Копацкий, В. А. Ефремова // Применение фибробетона в строительстве: материалы семинара. – М.: НТП, 2015. – С. 40 - 104.

23. Коротышевский, О.В. Пути повышения эффективности дисперсного армированного бетона: обзор. информ. [Текст] / О. В. Коротышевский. – Рига: Лат, 2014. – 243 с.

24. Косарев, В. М. Экспериментально-теоретические исследования прочности и деформативности изгибаемых и центрально сжатых элементов сталефибробетонных конструкций при кратковременном воздействии нагрузки[Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. М. Косарев. – М., 2016. – 125 с.

25. Кравинскис, В. К. Анализ параметров состояния сталефибробетона [Текст]/ В. К. Кравинскис, В. О. Филипсонс // Проектирование и оптимизация конструкций инженерных сооружений. – Рига: РПИ, 2016. – С. 38 - 103.

26. Куликов, А. Н. Экспериментально-теоретические исследования свойств фибробетона при безградиентном напряженном состоянии в

кратковременных испытаниях[Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. Н. Куликов. – М., 2015. – 125 с.

27. Курбатов, М. Г. Особенности проектирования и технологии изготовления сталефибробетонных конструкций [Текст]/ М. Г. Курбатов, И. А. Лобанов. – М.: ЛТП, 2018. – 426 с.

28. Курбатов, М. Г. Проектирование и изготовление сталефибробетонных конструкций [Текст]/ М. Г. Курбатов. – М., 2015. – 455 с.

29. Курбатов, М. Г. Сопротивление сталефибробетона сжатию [Текст]/М. Г. Курбатов, Н. Н. Боровских // Исследование и расчет новых типов пространственных конструкций гражданских зданий: сб. науч. тр. – М.: ЭП, 2015. – С. 58 - 102.

30. Курбатов, М. Г. Сталефибробетонные конструкции в строительстве [Текст]/ М. Г. Курбатов, Ю. И. Ермилов. – М., 2016. – 459 с.

31. Линии по производству стальных фибр из отходов [Текст]/ Ф. А. Гофштейн [и др.] // Строительство и архитектура: экспресс-информ. / ВНИИТПИ. – М., 2018. – С. 11 - 105.

32. Лобанов, И. А. Коррозионная стойкость арматуры в фибробетоне [Текст]/ И. А. Лобанов, А. В. Копацкий, Е. В. Гулимова // Дисперсно-армированные бетоны и конструкции из них: тез. докл. и сообщ. – Рига: ЛатИнТИ, 2015. – С. 130 - 133.

33. Лобанов, И. А. Особенности структуры и свойства дисперсно-армированных бетонов [Текст]/ И. А. Лобанов // Технология изготовления и свойства новых композиционных строительных материалов: межвуз. тем. сб. тр. – М., 2016. – С. 5 - 100.

34. Малышев, В. Ф. Особенности технологии изготовления сталефибробетонных трубчатых изделий[Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. Ф. Малышев. – М., 2015. – 124 с.

35. Носарев, А. В. Мостовые конструкции из дисперсно-армированных бетонов [Текст]/ А. В. Носарев [и др.] // Дисперсно-армированные бетоны и

конструкции из них. – М., НТИ, 2015. – С. 26 - 99.

36. Ольховая, М. И. Прочность и деформативность сталефибробетона и элементов конструкций с его использованием [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М. И. Ольховая. – М., 2016. – 125 с.

37. Опыт изготовления изделий из сталефибробетона методом вибрационного уплотнения [Текст]/ Т. Г. Тарарина [и др.] // Исследование и расчет новых типов пространственных конструкций гражданских зданий: сб. науч. тр. – М.: ИЭП, 2015. – С. 15 - 108.

38. Павлов, А. П. Развитие и экспериментально теоретические исследования сталефибробетона [Текст]/ А. П. Павлов // Исследования в области железобетонных конструкции: сб. тр. – М., 2016. – № 111. – С. 3 - 103.

39. Применение фибробетона в строительстве: материалы краткосрочного семинара [Текст]/ под ред. М. Г. Курбатова. – М.: НТП, 2015. – 380 с.

40. Пухаренко, Ю. В. Научные и практические основы формирования структуры и свойств фибробетонов [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Ю. В. Пухаренко. – СПб., 2015. – 142 с.

41. Рабинович, Ф. Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: монография [Текст]/ Ф. Н. Рабинович. – М.: Изд-во АСВ, 2014. – 560 с.

42. Романов, В. П. Влияние параметров дисперсного армирования на прочность элементов из сталефибробетона при статических и динамических нагрузках [Текст]/ В. П. Романов, Ф. Н. Рабинович, И. Д. Захаров // Исследование и расчет новых типов пространственных конструкций гражданских зданий: сб. науч. тр. – М.: ИЭП, 2015. – С. 38 - 94.

43. Рыбасов, В. П. Приготовление и свойства сталефибробетона с добавками поверхностно-активных веществ [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. П. Рыбасов. – М., 2014. – 123 с.

44. СП 29.13330.2011. Полы. Актуализированная редакция СНиП 2.03.13-88 (с Изменением N 1). – Введ. 2011-05-20. –М.: ЦНИИПромзданий, 2011. – 68с. – (Система нормативных документов в строительстве).
45. СП 52-104-2006\*. Сталефибробетонные конструкции (с Изменениями и Дополнениями). – Введ. 2006-09-01. –М.: НИЦ «Строительство», 2006. – 67с. – (Система нормативных документов в строительстве).
46. Стальная фибровая арматура: отчет о патентных исследованиях [Текст]. № 40/86/161. – Челябинск, 2017. – 448 с.
47. Трамбовецкий, В. П. Фиброармированные материалы за рубежом [Текст] / В. П. Трамбовецкий // Строительные материалы за рубежом. – 2016. – С. 11 - 106.
48. ТУ 1211-205-46854090-2005. Фибра стальная проволочная для армирования бетона. – Введ. 2005-06-01. –М: ГУП НИИЖБ, 2005. – 9с.
49. Hackman, L. E. Application of Steel Fiber to Refractory Reinforcement Proceedings [Text] // Symposium on Fibrous Concrete (Ci80, London, 2016), The Construction Press, Lancaster. – London, 2016. – P. 17 - 152.
50. Henager, C. H. Steel Fibrous Concrete [Text]// Symposium on Fibrous Concrete (Ci80, London, 1980), The Construction Press, Lancaster. – London, 2015. – P. 16 - 98.
51. Houghton, D. L. Cavitations Resistance of Some Special Concretes [Text]/ D. L. Houghton, O. E. Borge, J. H. Paxton // ACI Journal, Proceedings. – 2018. – Vol. 75, № 12. – P. 44 - 167.
52. Gaber, R. Vorgespannte Fasern im Beton [Text]/ R. Gaber, Klink Th. // Betonwerk + Fertigteil – Technik. – 2015. – № 11. – S. 40 - 96.
53. Johnston, C. D. Properties of Steel Fibre Reinforced Mortar and Concrete [Text]/ C. D. Johnston // Symposium on Fibrous Concrete (Ci80, London, 2016), The Construction Press, Lancaster. – London, 2016. – P. 29 - 107.
54. Johnston, Colin D. Steel fibre – reinforced concrete-present and future in

engineering construction [Text]// Composites. – 2015. – Vol. 13, № 2. – P. 13 - 121.

55. Kobayashi, K. Mechanics of Concrete with Randomly Oriented Short Steel Fibres [Text]/ K. Kobayashi, R. Cho // Proceedings of the 2nd International Conference on the Mechanical Behaviour of Materials. – Boston, 2016. – P. 28 - 142.

**Сравнительный анализ затрат материалов**

Таблица А.1 – Сравнительный анализ затрат материалов на возведение монолитных полов (100м<sup>2</sup>)

Тип конструкции	h, м	Затраты материалов						Итого затраты материалов, руб.
		Бетон			Сталь			
		расход, м <sup>3</sup>	стоимость, руб./м <sup>3</sup>	стоимость всего, руб.	расход, т	стоимость, руб./т	стоимость всего, руб.	
Бетонная плита	0,26	26,52	3000	79560	-	-	-	79560
СФБ-плита	0,16	16,32	3000	48960	0,48	33000	15840	64800
Отклонение	-0,1	-10,2		-30600	-0,48		-15840	-14760
Отклонение, %	-38	-38		-38			-100	-18
Железобетонная плита	0,18	18,36	3000	55080	1,65	20000	33000	88080
СФБ-плита	0,16	16,32	3000	48960	0,48	33000	15840	64800
Отклонение	-0,02	-2,04		-6120	-1,17	13000	-17160	23280
Отклонение, %	-11	-11		-11	-70	65	-51	-26

Калькуляция затрат

Таблица Б.1 – Калькуляция трудозатрат

Обоснование ЕНиР	Наименование работ	Ед.изм	Объем работ	Норма времени		Трудозатраты		Состав звена	Продолжительность смен
				Чел-час	Маш-час	Чел-день	Маш-день		
Е 4-1-34	Установка деревянной опалубки	1 м <sup>2</sup>	873,6	0,62		79,89		Плотник 4р.-2 2р.-2	9,98
Е 4-1-44	Монтаж артамуры краном КС-55713 (-К-3)	а) шт	70		0,42		4,34	Арматурщик 4р.-2 2р.-2	1,08
		б) шт	70		0,79		16,31	Арматурщик 4р.-2 2р.-2	4,07
Е 4-1-49	Укладка бетонной смеси АБС	1 м <sup>3</sup>	219,1		0,31		10,02	Машинист 4р.-2 Слесарь 2р.-2	1,37
Е 4-1-54	Покрытие бетонной смеси АБС	100м <sup>2</sup>	35,36	0,21		1,1		Бетонщик 2р.-2	0,55
Е 4-1-54	Снятие с бетонной поверх. утеплителя	100 м <sup>2</sup>	35,36	0,22		1,15		Бетонщик 2р.-2	0,57
Е 4-1-34	Разборка деревян. опалубки	1 м <sup>2</sup>	873,6	0,15		19,3		Плотник 4р.-2 2р.-2	2,4