

На правах рукописи

Войлоков Илья Анатольевич

**ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА ДВУХСЛОЙНЫХ
ПОЛОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ
СО СЛОЕМ ИЗНОСА ИЗ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА**

Специальность 05.23.08 – Технология и организация строительства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2012

Работа выполнена на кафедре организации строительства ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Колчеданцев Леонид Михайлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Бадьин Геннадий Михайлович,
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет», профессор
кафедры технологии строительного производства;

кандидат технических наук, доцент
Курлапов Дмитрий Валерьевич,
Военный институт (инженерно-технический) Военной
академии тыла и транспорта имени генерала армии
А.В. Хрулева МО РФ, заведующий кафедрой
гидротехнических сооружений, строительных конструкций
и механики твердого тела, Санкт-Петербург

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный
университет путей сообщения», Санкт-Петербург

Защита диссертации состоится 25 декабря 2012 года в 16⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.223.01 при ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005 г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория 219).

Телефакс: (812) 316-58-72
E-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

Автореферат разослан « » ноября 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



Ю.Н. Казаков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В последние годы наблюдается увеличение объемов возведения объектов промышленного строительства с большими площадями производства покрытий. Поиск новых технологий бетонирования покрытий направлен на сокращение продолжительности, трудоемкости и стоимости работ, на повышение качества и надежности верхних слоев покрытий.

На современном этапе развития строительного производства применяются традиционные технологии устройства покрытий промышленных полов из бетона и железобетона. Однако все чаще оказывается, что в своем традиционном исполнении они не вполне удовлетворяют современным тенденциям развития технологических решений возведения объектов промышленного строительства. Поэтому внимание специалистов обращается на возможность использования технологий с применением современных строительных материалов, в частности сталефибробетона. Применение дисперсного армирования позволяет получать эффективно армированные и надежные конструкции покрытий. При этом именно развитие технологий устройства покрытий промышленных полов со слоем износа является той областью, в которой достоинства сталефибробетона (высокие прочностные характеристики, трещиностойкость, износостойкость и др.) могут быть реализованы с наибольшей эффективностью. Однако массовое применение таких технологий требует дальнейшего изучения взаимодействия слоистых покрытий, исследования свойств фибробетонных смесей, приготовленных в построечных условиях, разработки технологических операций при устройстве покрытий и эксплуатационной надежности покрытий полов для современных промышленных зданий и сооружений.

Наиболее перспективными по признакам надежности и долговечности являются двухслойные полы промышленных зданий, в том числе со слоем износа из фибробетона. Каждый из слоев пола отличается по функциональному назначению и материалу. При этом от эксплуатационных нагрузок существующие полы работают по двухслойной схеме, а применяемая технология их устройства достаточно многодельна, трудоемка и занимает много времени, так как каждый слой устраивается раздельно.

Теоретическими основами работы стали труды отечественных ученых в области изучения сталефибробетона и технологий с его применением, представленных в работах Ю.М. Баженова, В.М. Бондаренко, Ю.В. Зайцева, В.И. Копытина, Л.Г. Курбатова, Д.В. Курлапова, Б.А. Крылова, И.А. Лобанова, К.В. Михайлова, А.В. Носарева, Б.И. Петракова, Ю.В. Пухаренко, М.М. Холмянского, А.Е. Шейкина, Г.К. Хайдукова и др.

Цель диссертационной работы – разработка и обоснование технологических параметров и режимов устройства двухслойных полов промышленных зданий со слоем износа из сталефибробетона, которая обеспечивает совместную работу слоя износа и монолитной плиты по однослойной схеме, снижение трудоемкости и повышение их эксплуатационных качеств.

В соответствии с поставленной целью были определены и решены следующие **научные задачи исследования**:

– выполнен анализ литературы, обобщены производственные методы устройства полов промышленных зданий, обоснованы целесообразность использования фибробетона в качестве слоя износа и обоснована гипотеза о необходимости разработки технологии, которая бы позволила из двух слоев пола, различных по материалу и функциональному назначению, получить однослойную конструкцию пола по схеме работы от эксплуатационных нагрузок;

– разработана расчетная модель работы пола со слоем износа из фибробетона, с использованием положений строительной механики, расчетным путем показана целесообразность совместности работы слоя износа из фибробетона и монолитной железобетонной плиты как однослойной конструкции;

– исследованы свойства фибробетонной смеси, бетонная матрица которой по составу исходных компонентов соответствует составу компонентов бетонной смеси, используемой для устройства монолитной железобетонной (бетонной плиты), являющейся несущей конструкцией пола;

– исследованы физико-механические свойства пола со слоем износа из фибробетона, включая прочностные характеристики, истираемость, сцепление слоев;

– разработаны технологические параметры и режимы устройства полов промышленных зданий со слоем износа из фибробетона, которые позволяют получить двухслойную конструкцию пола, работающую от эксплуатационных нагрузок по однослойной схеме.

Объект исследования – технология устройства двухслойных полов со слоем износа из сталефибробетона.

Предмет исследования – технологические параметры отдельных операций и процесса в целом, применяемые при возведении полов промышленных зданий со слоем износа из сталефибробетона.

Границами исследования являются технологические решения устройства полов промышленных зданий со слоем износа из сталефибробетона, которые позволяют получить двухслойную конструкцию пола, работающую от эксплуатационных нагрузок по однослойной схеме, без исследования технологии устройства основания и других вспомогательных работ, которые выполняются известными способами.

Методика исследования: технико-экономический системный анализ существующих технологических решений, патентный поиск, сравнительное вариантное технологическое проектирование, лабораторные и натурные эксперименты, теоретическое моделирование, исследование технологических параметров процессов устройства полов промышленных зданий со слоем износа из сталефибробетона.

Научная новизна работы выражается в следующих научных результатах:

1. Установлено, что по признакам надежности и долговечности наиболее перспективными являются двухслойные полы промышленных зданий, в том числе со слоем износа из сталефибробетона.

2. Разработана новая расчетная модель работы пола со слоем износа. Выполнены расчеты конструктивных параметров двухслойных полов для двух случаев их работы от эксплуатационных нагрузок. Показано, что на устройство пола, рассчитанного по однослойной схеме работы, требуется меньше материалов (стали на 10–20 %, бетона на 15–20 %) по сравнению с полом, работающим по двухслойной схеме.

3. Экспериментально доказано, что фибробетонная смесь со стальной фиброй, состав компонентов бетонной матрицы которой аналогичен составу бетонной смеси монолитной плиты пола, и которая приготовлена в построечных условиях, удовлетворяет требованиям удобоукладываемости (осадка конуса 5–7 см). Обоснованы оптимальные режимы укладки и уплотнения бетона монолитной плиты и фибробетонного слоя износа.

4. Экспериментально доказано, что физико-механические свойства пола со слоем износа из сталефибробетона, выполненного по совмещенной технологии укладки бетона в монолитную плиту и укладки фибробетонной смеси, обладают лучшими показателями по сравнению с показателями железобетонного пола, устраиваемого по традиционной технологии. В частности: прочность при сжатии повышается на 10–15 %, прочность на растяжение при изгибе увеличивается на 35–50 %, истираемость уменьшается на 15–25 %. Доказано, что прочность на сдвиг слоев износа и бетона монолитной плиты составляет 2,5–3 МПа, что обеспечивает их работу по однослойной схеме. Выведены уравнения регрессии.

5. Разработаны оптимальные схемы производства работ по устройству полов промышленных зданий по совмещенной технологии бетонирования монолитной плиты и слоя износа (заявка на изобретение № 2011100271 от 11.01.2011). В производственных условиях проведены мониторинговые наблюдения, показывающие сокращение времени устройства 100 м² пола на 5–10 % по сравнению с традиционной технологией.

Практическая значимость работы состоит в:

– разработке новой технологии, позволяющей сократить сроки и трудоемкость устройства полов промышленных зданий при одновременном сокращении расхода бетона и арматуры и улучшении эксплуатационных качеств пола;

– обосновании рационального состава фибробетонной смеси, получаемой в построечных условиях, бетонная составляющая которой аналогична составу бетонной смеси, используемой для бетонирования монолитной плиты пола;

– разработке технологического регламента на устройство пола по одностадийной технологии с двумя «срошенными» слоями (фибробетонного слоя износа и слоя монолитной железобетонной плиты);

– разработке типовой технологической карты;

– внедрении технологии с обоснованной технико-экономической эффективностью ее применения;

– доказано, что применение новой технологии позволяет: на 5–10 % сократить время устройства полов промышленных зданий; на 10–20 % уменьшить расход арматуры и на 15–20% бетона при повышении качества полов.

Достоверность результатов исследований обеспечена необходимым объемом экспериментальных исследований, выполненных современными методами на поверенном оборудовании; сходимостью результатов лабораторных исследований с результатами испытаний образцов, отобранных из тела пола, выполненного по предлагаемой автором технологии. Для обработки данных и оформления материалов диссертации использовалось современное программное обеспечение: Microsoft Word, Microsoft Excel, AutoCad 2007, SCAD.

Внедрение и реализация научных результатов диссертации осуществлены в 2002-2011 годах при устройстве покрытий промышленных полов на ряде объектов, в частности склад компании «Дикси» на Митрофаньевском шоссе в СПб (12000 м²), завод «ЯРОВИТМоторс» в СПб (6000 м²), завод Пеноплэкс в Киришах (7000 м²), Сасовский завод дорожных машин (6570 м²) в г. Сасово.

Апробация результатов исследования. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались, обсуждались и были одобрены на постоянно действующей научной конференции «Технологии быстровозводимых сооружений в индустриальном и жилищном строительстве. Пути развития в современных условиях» (СПбГПУ, 2007); на ежегодной научно-практической конференции «Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций» (ВИТУ, 2006–2011), на международном семинаре «Современные методы армирования» (СПбГПУ, 2007); на IV международном конгрессе по строительству IBS в СПб (2012).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 39 работ, из них 4 в журналах, входящих в перечень ВАК. Подана заявка на изобретение № 2011100271 от 11.01.2011 г.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, основных выводов, списка литературы из 158 наименований работ отечественных и зарубежных авторов и приложений, содержит 24 рисунка и 23 таблицы.

На защиту выносятся следующие результаты научных исследований:

– методика применения новой технологии устройства полов промышленных зданий (заявка на изобретение № 2011100271 от 11.01.2011 г.), предусматривающая совмещение в одном технологическом процессе операций по укладке бетонной смеси в тело железобетонной монолитной плиты с последующей укладкой и уплотнением фибробетонной смеси слоя износа, обеспечивающая сращивание слоев и их совместную работу;

– обоснование по результатам расчетов эффективного использования материалов (бетона и арматуры) двухслойного пола с различными слоями по материалу и функциональному назначению в конструкции пола, работающей по однослойной схеме, по сравнению с двухслойной работой пола;

– оценка и результаты исследований свойств сталефибробетонной смеси, приготовленной в постройных условиях, состав компонентов бетонной матрицы которой аналогичен составу бетонной смеси плиты пола;

– результаты экспериментальных исследований физико-механических характеристик бетонного пола полученного по одностадийной технологии с двумя «сращенными» слоями (фибробетонного слоя износа и слоя монолитной плиты);

– рекомендации по устройству промышленных двухслойных полов со слоем износа из сталефибробетона с технологическими характеристиками сталефибробетонных смесей и условиями твердения слоя износа.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Установлено, что наиболее перспективными по признакам надежности и долговечности являются двухслойные полы промышленных зданий, в том числе со слоем износа из сталефибробетона.

Каждый из слоев пола отличается по функциональному назначению и материалу. При этом от эксплуатационных нагрузок существующие полы работают по двухслойной схеме, применяемая технология их устройства достаточно многодельна, трудоемка и занимает много времени, так как каждый слой устраивается раздельно.

Повышение качества полов промышленных зданий возможно за счет устройства высокопрочных покрытий при значительном периоде их эксплуатации. Устройство покрытий из монолитного бетона по существующим технологиям осуществляется в виде двухстадийного процесса производства работ: арматурные работы и бетонные работы.

Одним из способов решения поставленной задачи является устройство слоя износа из сталефибробетона и разработка технологии возведения покрытий в целом. Применение такой технологии позволит привести двухстадийный процесс производства к одностадийному, и сократит расход арматурной стали на 10–20 %. Целесообразность применения сталефибробетона определяется экономией арматуры и бетона. Экономический эффект также достигается за счет других ее свойств: повышения трещиностойкости, ударостойкости, прочности, что в конечном итоге приведет к увеличению срока службы конструкции.

Значительное количество работ описывает технологические параметры изготовления сталефибробетонной смеси и технологии укладки с его конечными характеристиками, однако эти работы не содержат теоретических разработок и методик, позволяющих выбрать технологию устройства слоя износа и обеспечить его высокие прочностные характеристики. Вместе с тем, массовое внедрение сталефибробетона в практику строительства настоятельно требует осуществлять мониторинг слоя износа покрытия и возможность совместного взаимодействия слоев покрытия при разработке универсальных технологических решений и проектирования состава сталефибробетона, отличающихся от существующих.

Экономия строительных материалов (бетона и арматурной стали) доказана на примерах двух конструктивных решений, а технологически «сращенные» слои показывают новый подход к проблеме слоя износа полов промышленных зданий (рис. 1).

Таким образом, была обоснована задача и целесообразность использования сталефибробетона в качестве слоя износа. Это позволило выдвинуть научную гипотезу о необходимости разработки технологии, которая бы позволила из двух слоев пола, различных по материалу и функциональному назначению, получить однослойную конструкцию пола по схеме работы от эксплуатационных нагрузок.

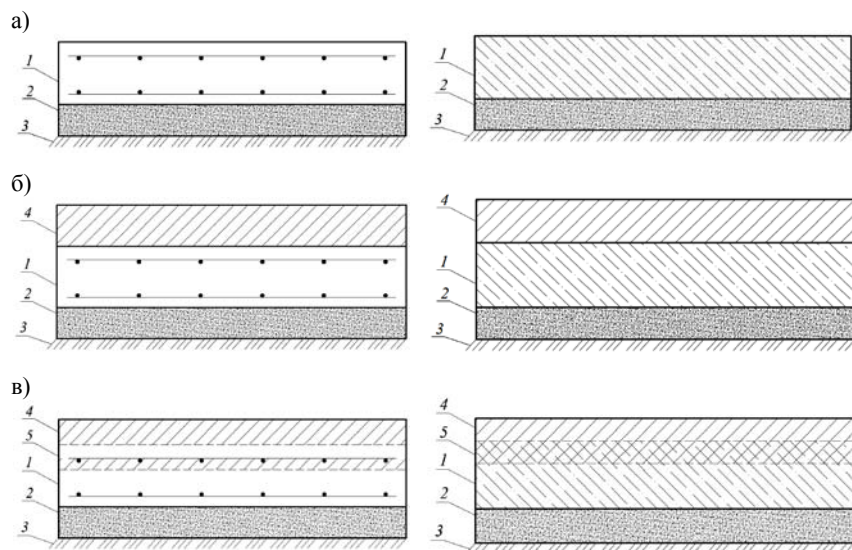


Рис. 1. Конструктивно-технологические схемы устройства полов промышленных зданий:

- а) традиционный однослойный пол с железобетонной или бетонной плитой; б) двухслойный пол с износостойким слоем из фибробетона (работающий по двухслойной схеме); в) двухслойный пол с износостойким слоем из фибробетона, сращенным с железобетонной или бетонной плитой (работающий по однослойной схеме); 1 – несущая конструкция пола (железобетонная или бетонная плита); 2 – подготовка из песчано-грунтовой смеси; 3 – естественно уплотненное грунтовое основание; 4 – слой износа из фибробетона; 5 – слой срачивания фибробетона с бетоном несущей железобетонной или бетонной смеси.

2. Разработана новая расчетная модель работы пола со слоем износа. Выполнены расчеты конструктивных параметров двухслойных полов для двух случаев их работы от эксплуатационных нагрузок. Показано, что на устройство пола, рассчитанного по однослойной схеме работы, требуется меньше материалов (стали на 10–20 %, бетона на 15–20 %) по сравнению с полом, работающим по двухслойной схеме.

Согласно рабочей гипотезе проработано теоретическое обоснование работы бетонного пола, полученного по одностадийной технологии с двумя «сро-

щенными» слоями (фибробетонного слоя износа и слоя монолитной плиты) при воздействии эксплуатационных нагрузок с учетом конструктивных особенностей.

Рассматривая теорию работы покрытий при воздействии эксплуатационных нагрузок, исходим из следующих положений: при расчетах толщины покрытий со слоем износа из сталефибробетона применяем решения строительной механики для плит на упругих основаниях; определение внутренних усилий в плитах на упругом основании сводим к нахождению функции эпюр реакции основания от заданной нагрузки. При этом допускаем, что осадка поверхности основания в точности совпадает с прогибами плиты под нагрузкой. При проектировании покрытий учитываются воздействия расчетной нагрузки за весь период эксплуатации.

В качестве расчетной схемы принимаем модель, по которой на покрытие со слоем из сталефибробетона и несущего слоя из тяжелого бетона (железобетона) воздействуют высокие эксплуатационные нагрузки (рис.2).

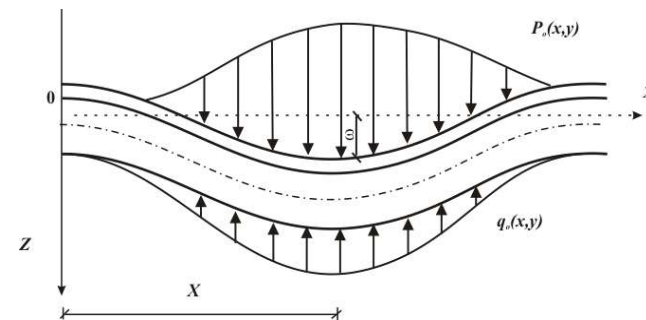


Рис. 2. Расчетная схема покрытия со слоем износа при воздействии эксплуатационных нагрузок, где ω – прогиб плиты; x, y – координаты серединной плоскости плиты; $P_0(x, y)$ – функция нормальной реакции основания; $q_0(x, y)$ – функция внешней нагрузки

Предполагаем, что в результате деформации от эксплуатационной нагрузки слой износа не отслаивается от слоя тяжелого бетона. За счет предложенного автором технологического решения взаимопроникновения слоев друг в друга. В пределах каждого слоя модули упругости, плотность и толщина постоянны, но для различных слоев не одинаковы (рис. 3).

Результаты расчетных характеристик пола по одностадийной технологии с двумя «сращенными» слоями (фибробетонного слоя износа и слоя монолитной плиты), принятого единым, и применение разработанных технологических решений устройства слоя износа из сталефибробетона имеют явное преимущество по сравнению с расчетом двухслойной конструкции. Результатами расчета слоя износа плиты является его проектные толщина, прочность на осевое сжатие, растяжение при изгибе, истираемость, стоимостные ограничения.



Рис. 3. Конструкция покрытия со слоем износа при воздействии эксплуатационных нагрузок, где P_s – сдвигающая нагрузка от сил торможения; F_x – сопротивление качению колес и торможению; P_k – колесная нагрузка; θ – угол выноса колес опоры от вертикали; $a-a$ – площадь контакта колеса с покрытием.

3. Экспериментально доказано, что фибробетонная смесь со стальной фиброй, состав компонентов бетонной матрицы которой аналогичен составу бетонной смеси монолитной плиты пола, и которая приготовлена в построечных условиях, удовлетворяет требованиям удобоукладываемости (осадка конуса 5-7 см). Обоснованы режимы укладки и уплотнения бетона монолитной плиты и сталефибробетонного слоя износа.

Для обеспечения равномерного распределения стальной фибры в слое износа фибробетонная смесь должна уплотняться по следующему режиму: интенсивность вибрации 280–310 см²/с³, частота 50–75 Гц, амплитуда 0,35–0,5 мм. Для обеспечения совместной работы слоя износа и монолитной плиты время между укладкой бетонной смеси в монолитную плиту и фибробетонной смеси должно составлять 0,7–0,9 сроков от начала схватывания цемента в монолитной плите. При этом продолжительность уплотнения фибробетонной смеси должна составить 10–20 сек., что позволяет проникнуть фибробетонной смеси в слой монолитной плиты на 15–25 мм.

Устройство покрытий промышленных полов с применением слоя износа из сталефибробетона включает технологические процессы по приготовлению, транспортированию, укладке и распределению в покрытие бетонной и сталефибробетонной смесей, «сращиванию» – взаимопроникновению слоев покрытия, обработке смеси, уходу за уложенным бетоном и выдерживанию до набора распалубочной прочности.

Для обеспечения надежного технологического «сращивания» слоев покрытия и обеспечения надежного слоя износа сталефибробетонные смеси необходимо оценивать бетонную смесь по следующим критериям:

- количество стальной фибры;
- сцепление и анкеровка стальной фибры с бетоном;
- однородность сталефибробетонной смеси;
- равномерное распределение стальной фибры по всему объему матрицы.

Выполнение перечисленных условий приводит к проведению различных по содержанию и сложности технологических мероприятий.

Состав смеси:

В экспериментах использовалась стальная фибра, прочностью на растяжение $R_{fm} = 600$ МПа, диаметром 0,5 мм и длиной 50 мм из малоуглеродистой проволоки по ТУ 14-4-1093–80. Количество воды затворения, необходимое для сталефибробетонной смеси, выбрано экспериментальным путем при показателе жесткости $t_q = 5-10$ с. При расходе воды затворения 204 л/м³ получили требуемую жесткость сталефибробетонной смеси при $(M_w/M_c)_f = 0,498$. Расход вяжущего, крупного и мелкого заполнителя, стальной фибры подобраны по результатам в соответствии с планом проведения лабораторного эксперимента. С этой целью изначально готовили сталефибробетонную смесь состава $M_c:M_s:M_f = 1:3:0,005$.

Укладка и уплотнение смеси:

При определении режима вибрационной обработки слоев покрытия, степени и продолжительности уплотнения выявлено, что в процессе уплотнения конструкции происходит резкое оседание сталефибробетонной смеси за счет перераспределения фибры. В результате исследований формования образцов экспериментально на стенде лаборатории кафедры ВИТУ установлено, что объем свежееуложенной толщины бетонной смеси (в пропорции 1:4) должен составлять:

$$V_{нк} = 1,5 V, \quad (1)$$

где $V_{нк}$ – объем первоначальной неуплотненной смеси, м³; V – объем уплотненной конструкции в целом, м³.

При этом, исходя из опыта производства фибробетонных покрытий, автор применяет поверхностное вибрирование. Использование глубинных вибраторов нарушает расчетные слои конструкции и способствует образованию цементных пробок в теле сталефибробетона. Кратковременное поверхностное вибрирование (10–20 сек) создает надежный защитный слой бетона и позволяет направленно располагать стальные фибры параллельно поверхности пола с образованием защитного слоя износа. Решение задач на производстве значительно усложняется технологическими особенностями бетонирования слоистых конструкций, различием состава бетонов каждого из слоев и разнообразием применяемых материалов, отличающихся как по физическим характеристикам, так и по однородности, качеству и т. п. Таким образом, в технологии производства слоистых покрытий наиболее важной задачей является достижение максимальной плотности укладки слоев и их прочная взаимосвязь.

4. Экспериментально доказано, что физико-механические свойства пола со слоем износа из сталефибробетона, выполненного по совмещенной технологии укладки бетона в монолитную плиту и укладки фибробетонной смеси, обладают лучшими показателями по сравнению с показателями железобетонного пола, устраиваемого по традиционной технологии. В частности: прочность при сжатии повышается на 10–15 %, прочность на растяжение при изгибе увеличивается на 35–50 %, истираемость уменьшается на 15–25 %. Доказано, что прочность на сдвиг слоев износа и бетона монолитной плиты составляет 2,5–3 МПа, что обеспечивает их работу по однослойной схеме. Выведены уравнения регрессии.

С целью подтверждения гипотезы работы конструкции со слоем износа, для исследования связи между технологическими и проектными конструктивными характеристиками и установления новых научных фактов, были спланированы и проведены экспериментальные исследования. В качестве исследуемых факторов состава слоя износа из сталефибробетона были приняты: содержание стальной фибры μ_f ; однородность смеси; продолжительность уплотнения; физико-механические свойства (прочность на осевое сжатие R_b и растяжение при изгибе R_{btb} при статическом нагружении и истираемость И); взаимодействие слоев и их устойчивое равновесие.

Лабораторные исследования слоя износа на истираемость и прочностные характеристики конструкции выполнялись в сертифицированных испытательных лабораториях кафедры строительных конструкций и механики твердого тела ВИТУ, ООО «Бетон», ОАО «Объединение 45». Для сокращения объема требуемых испытаний по выявлению аналитических зависимостей между исследуемыми факторами и факторами влияния, а также изучения свойства покрытий и слоя износа из сталефибробетона, приготовленных на различных составах, и определения влияния экспериментальных составов на физико-механические свойства опытных образцов, применялись математические методы планирования экспериментов, по условиям многофакторного эксперимента. Исследования проводились по 17 точкам плана (трехфакторный трехуровневый план на кубе). Варьируемые переменные и уровни варьирования приведены в табл. 1.

Таблица 1

Варьируемые переменные и уровни варьирования

№ фактора	Характеристика исследования и независимые переменные фактора	Образование фактора	Характеристика варьирования				
			Интервал варьирования	Верхний уровень	Средний уровень	Нижний уровень	Количество уровней
1	Песчано-цементное отношение M_s/M_c	X_1	1	2	3	4	3
2	Водоцементное отношение M_w/M_c	X_2	0,10	0,50	0,40	0,30	3
3	Содержание стальной фибры по объему μ_f , %	X_3	0,5	1	0,5	0	3

Очередность и порядок проведения опытов были приняты на основе активного планирования эксперимента, так как при этом обеспечивалась возможность варьирования факторов влияния на трех фиксированных уровнях.

Матрица планирования эксперимента и результаты исследуемых факторов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента и результаты испытаний образцов (трехуровневый план проведения эксперимента)

№ опыта	Матрица планирования			Свойства покрытий по технологии со слоем износа		
	$X_1, M_s/M_c$	$X_2, M_w/M_c$	X_3, μ_f	R_{bb} , МПа	R_b , МПа	И, г/см ²
1	4	0,50	1	5,3	20,4	0,301
2	2	0,50	0,5	9,6	34,9	0,062
3	4	0,30	1	2,4	14,1	0,585
4	2	0,30	1	8,8	38,9	0,099
5	4	0,50	0	2,8	15,7	0,209
6	2	0,50	0	5,2	32,2	0,175
7	4	0,30	0	1,1	11,2	0,398
8	2	0,30	0	4,7	42,3	0,157
9	4	0,40	0,5	4,4	12,2	0,455
10	2	0,40	0,5	9,6	38,8	0,171
11	3	0,50	0,5	7,6	27,5	0,148
12	3	0,30	0,5	6,2	31,3	0,274
13	3	0,40	1	10,2	37,8	0,181
14	3	0,40	0	4,2	31,5	0,174
15	3	0,40	0,5	9,1	32,2	0,216
16	3	0,40	0,5	8,9	32,1	0,217
17	3	0,40	0,5	8,8	32,4	0,216

Образцы изготавливались: без фибры, с 0,5 % фибры (40 кг/м³) и 1 % фибры (80 кг/м³). Образцы испытывались на испытательных машинах П250, П-50, Р-10. Испытания проводились по ГОСТ 10180-90. Получены уравнения регрессии для расчета физико-механических свойств образцов покрытий:

прочность на осевое сжатие

$$R_b = 50,12 - 13,71 \left(\frac{M_s}{M_c}\right) + 14,73 \left(\frac{M_w}{M_c}\right) - 0,42\mu_f - 0,63 \left(\frac{M_s}{M_c}\right)^2 - 69,39 \left(\frac{M_w}{M_c}\right)^2 + 0,078\mu_f^2 + 19,52 \left(\frac{M_s}{M_c}\right) \left(\frac{M_w}{M_c}\right) - 0,11\mu_f \left(\frac{M_s}{M_c}\right) + 0,82\mu_f \left(\frac{M_w}{M_c}\right), \text{ МПа}$$

прочность на растяжение при изгибе

$$R_{btb} = -16,7 + 0,31 \left(\frac{M_s}{M_c}\right) + 92,81 \left(\frac{M_w}{M_c}\right) - 0,087\mu_f - 0,43 \left(\frac{M_s}{M_c}\right)^2 - 92,86 \left(\frac{M_w}{M_c}\right)^2 + 0,0057\mu_f^2 + 2,41 \left(\frac{M_s}{M_c}\right) \left(\frac{M_w}{M_c}\right) - 0,006\mu_f \left(\frac{M_w}{M_c}\right) + 0,23\mu_f \left(\frac{M_s}{M_c}\right), \text{ МПа}$$

истираемость

$$\begin{aligned}
 I = & -0,02 + 0,002 \left(\frac{M_s}{M_c} \right) + 0,51 \left(\frac{M_w}{M_c} \right) + 0,014 \mu_f + \\
 & + 0,031 \left(\frac{M_s}{M_c} \right)^2 - 0,54 \left(\frac{M_w}{M_c} \right)^2 - 0,0006 \mu_f^2 - \\
 & - 0,17 \left(\frac{M_s}{M_c} \right) \left(\frac{M_w}{M_c} \right) + 0,0027 \mu_f \left(\frac{M_s}{M_c} \right) - \\
 & - 0,008 \mu_f \left(\frac{M_s}{M_c} \right), \text{ г/см}^2
 \end{aligned}$$

В процессе лабораторных экспериментов получены зависимости прочностных характеристик и истираемости от содержания фибры и других компонентов сталефибробетонной смеси (рис. 5–7).

На основании полученных данных можно утверждать, что устройство слоя износа из сталефибробетона наряду с существенным увеличением прочности растяжению при изгибе значительно снижает истираемость покрытий. Полученные результаты в процессе лабораторного эксперимента являются исходными данными, позволяющими определять технологические параметры устройства слоев износа для покрытий промышленных полов с определенными расчетными характеристиками сталефибробетонной смеси.

5. Разработаны оптимальные схемы производства работ по устройству полов промышленных зданий по совмещенной технологии бетонирования монолитной плиты и слоя износа (заявка на изобретение № 2011100271 от 11.01.2011г.). В производственных условиях проведены мониторинговые наблюдения, показывающие сокращение времени устройства 100 м² пола на 5–10 % по сравнению с традиционной технологией.

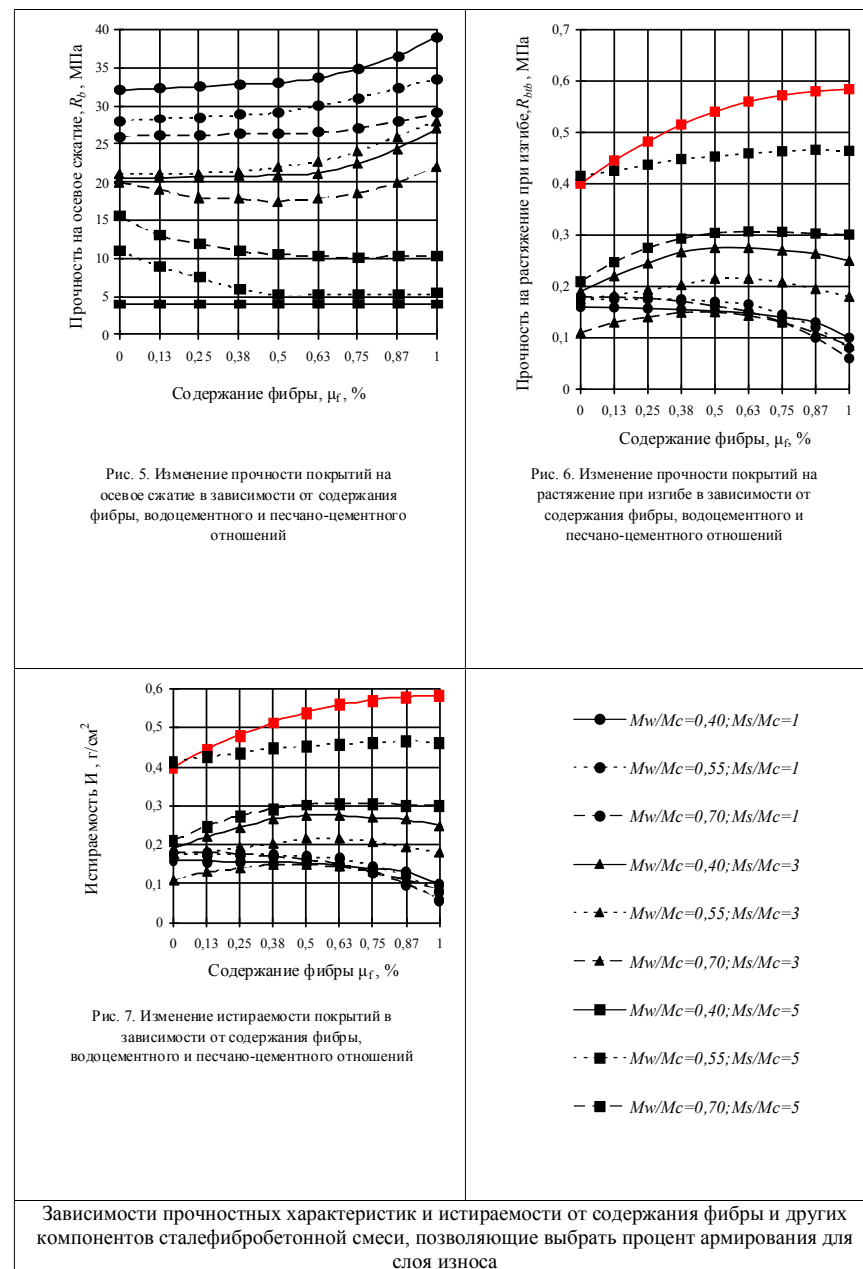
С целью решения завершающей исследования научной задачи разработаны новые технологические решения устройства полов промышленных зданий со слоем износа из сталефибробетона, которые позволяют получить двухслойную конструкцию пола, работающую от эксплуатационных нагрузок по однослойной схеме (рис. 8).

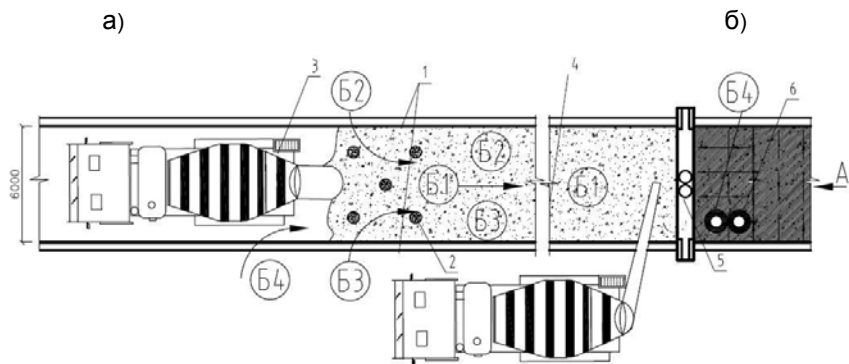
Определено, что в технологии производства слоистых покрытий наиболее важной задачей является достижение максимальной плотности укладки слоев и их прочная взаимосвязь, длительное уплотнение приводит к нарушению однородности смеси по объему в результате расслоения.

Технология производства промышленных полов со слоем износа из сталефибробетона в производственных условиях реализована автором при возведении покрытий на ряде объектов ООО «КонкритИнжиниринг»:

- при замене покрытия площадью 2300 м² помещения автохозяйства в г. Кириши под нагрузку от тяжелой строительной техники;
- при устройстве покрытия цеха площадью 3000 м² в г. Пермь;
- при производстве покрытий пола завода дорожных машин на участке площадью 600 м² в г. Сасово.

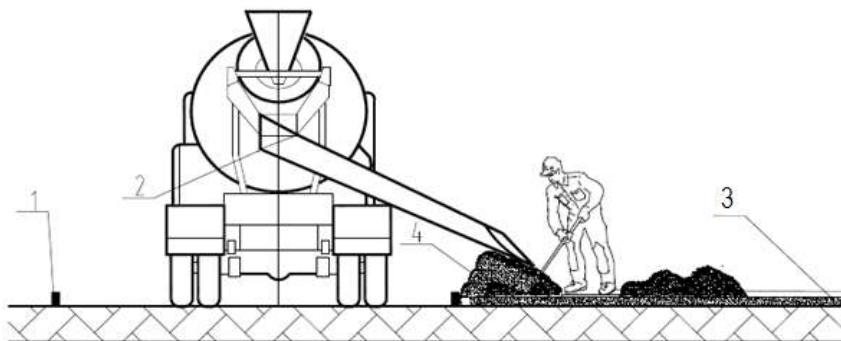
Исходя из одинаковых требуемых физико-механических свойств покрытий, общая толщина покрытия составляла 200–220 мм, в том числе слой износа 50–80 мм.





1 – направляющие; 2 – маяки; 3 – автобетоносмеситель; 4 – формирование слоя износа; 5 – виборейка; 6 – шлифовальная машина. Б1, Б2, Б3, Б4 – бетончики

Вид А



1 – направляющие; 2 – автобетоносмеситель; 3 – основной слой бетонного пола; 4 – фибробетонная смесь

Рис. 8. Технологические решения устройства полов промышленных зданий со слоем износа из сталефибробетона, полученных по одностадийной технологии с двумя «сращенными» слоями:

а) устройство основного слоя бетонного пола; б) устройство фибробетонного слоя

Состав сталефибробетона:

цемент марки 400–405 кг, песок с $M_{кр} = 2,7 - 720$ кг, щебень фракций до 10 мм – 1050 кг, фибра стальная – 40 кг/м³ (1% армирования по объему от доли Ц+П), пластификатор «SikaPlast» – 2,8 кг, В/Ц – 0,43).

На всех объектах производственной проверки применялся разработанный способ укладки слоя износа из сталефибробетона в покрытие (рис. 9). Производились следующие технологические операции:

– приготовление бетонной и сталефибробетонной смесей;

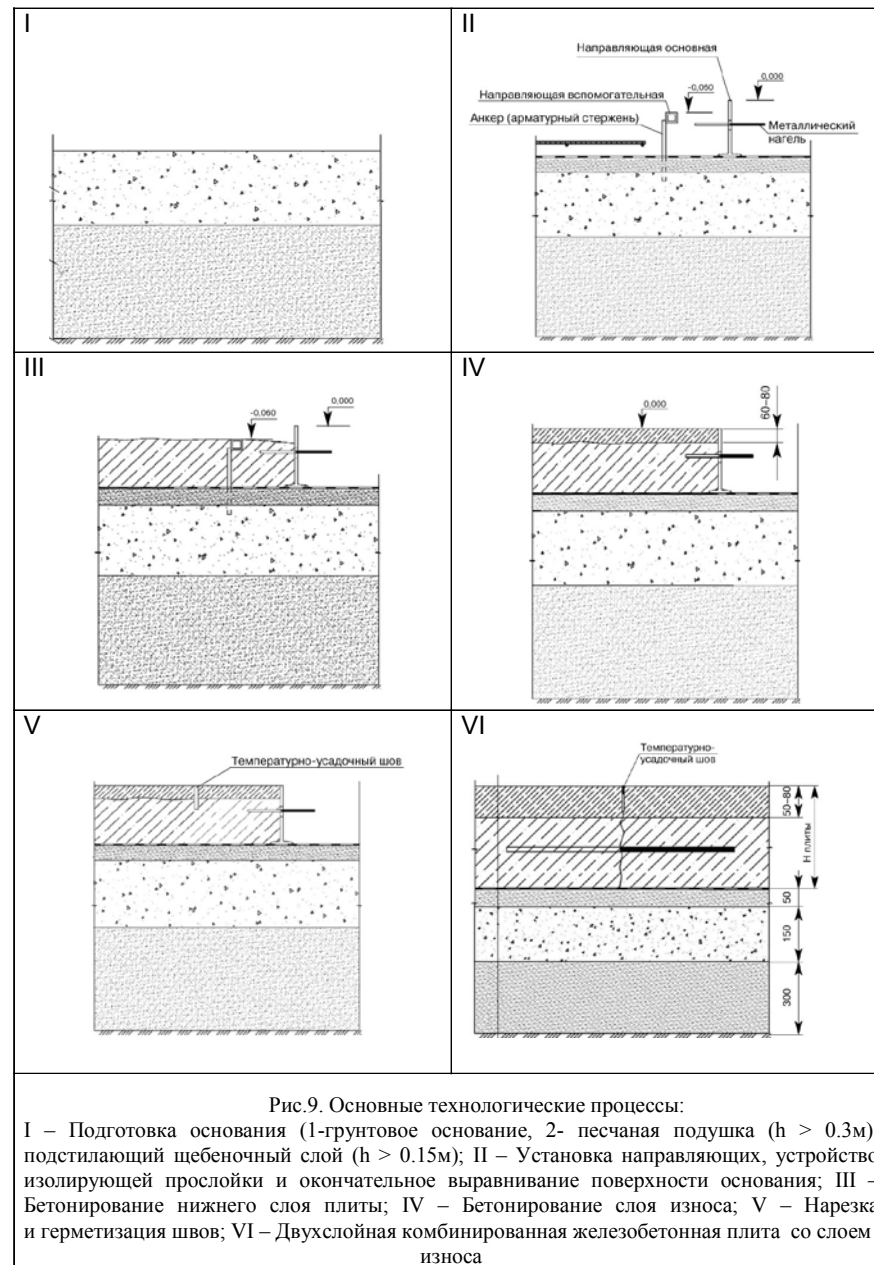


Рис.9. Основные технологические процессы:

I – Подготовка основания (1-грунтовое основание, 2- песчаная подушка ($h > 0,3$ м), подстилающий щебеночный слой ($h > 0,15$ м); II – Установка направляющих, устройство изолирующей прослойки и окончательное выравнивание поверхности основания; III – Бетонирование нижнего слоя плиты; IV – Бетонирование слоя износа; V – Нарезка и герметизация швов; VI – Двухслойная комбинированная железобетонная плита со слоем износа

– транспортирование сталефибробетонной и бетонной смесей на место устройства покрытия;

– установка направляющих на всю высоту бетонирования конструкции покрытия;

– послойная укладка соответственно бетонной и сталефибробетонной смесей по высоте уплотненных слоев;

– одновременное уплотнение обоих слоев покрытия;

– отделка поверхности покрытия шлифовальными машинами и уход за бетоном путем обработки поверхности отвердителем составом;

– нарезка и герметизация деформационных швов.

В процессе обследования были выбурены образцы-kerne бетона для определения фактической толщины покрытия, прочности и однородности бетона. Установлено, что покрытия, выполненные по разработанной технологии, превышают нормативные прочностные характеристики (табл.3).

Таблица 3

Результаты испытания контрольных образцов-кернов покрытия

№ п/п	Вид испытания	Требования ГОСТ 26633-85	Технология устройства	
			без слоя износа	предлагаемая
1.	Прочность на растяжение при изгибе $R_{лп}$, МПа	4,0	4,0	6,39
2.	Истираемость И, г/см ²	1,1	0,537	0,358

Таблица 4

Результаты учета продолжительности операций по возведению покрытий промышленного пола на 100 м²

№ п/п	Наименование операций технологического процесса	Продолжительность операции, час	
		по традиционному способу	по предлагаемой технологии
1.	Установка арматурных каркасов	5,52	-
2.	Выгрузка бетонной и сталефибробетонной смесей	2,64	2,64
3.	Разравнивание бетонной и сталефибробетонной смесей	-	6,2
4.	Уплотнение бетонной смеси, $t_q=20$ с	6,76	-
5.	Уплотнение бетонной смеси, $t_q=20$ с и сталефибробетонной смеси, $t_q=15$ с, одновременно	-	5,51
6.	Заглаживание открытой поверхности покрытия	4,86	4,42
	Общий цикл формования	19,78	18,77

По полученным экспериментальным данным и проверке на опытных участках можно отметить следующие достоинства разработанной технологии производства покрытий со слоем износа из сталефибробетона:

– снижение энергозатрат производства на 10–12 %;

– сокращение общего цикла производства покрытий до 5–10 %;

– уменьшение приведенных затрат на производство покрытий на 20–30 %;

– исключение вредного выброса продуктов электросварочных работ в атмосферный воздух за счет полного сокращения арматурных работ.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Наиболее эффективным направлением повышения надежности и долговечности полов промышленных зданий является устройство износостойкого слоя из фибробетона по несущей конструкции пола. Разработана технология устройства полов за счет объединения в один технологический процесс работ по устройству монолитной железобетонной (или бетонной) плиты и слоя из сталефибробетона.

2. Теоретически (расчетным путем) показано, что «сращивание» слоев, т. е. совместная работа монолитной плиты и слоя износа как однослойной конструкции, позволяет по сравнению с работой пола по двухслойной схеме более эффективно использовать конструкционные свойства материалов. В частности, снижая расход бетона на 15–20 %, а арматурной стали – на 10–20 %.

3. Для обеспечения наиболее полного эффекта от совместной работы слоев автором, кроме совмещенной технологии их устройства, предложено состав компонентов бетонной матрицы фибробетона принимать аналогичным составу бетонной смеси монолитной плиты пола. Экспериментально доказано, что фибробетонная смесь такого состава (цемент марки 400 – 405 кг, песок с $M_{кр} = 2,7 – 720$ кг, щебень фракций до 10 мм – 1050 кг, фибра стальная – 40 кг/м³ (1% армирования по объему от доли Ц+П), пластификатор «SikaPlast» – 2,8 кг, В/Ц – 0,43) удовлетворяет требованиям удобоукладываемости (осадка конуса 10 см).

4. Экспериментально доказано, что физико-механические свойства пола со слоем износа из сталефибробетона, выполненного по совмещенной технологии укладки бетона в монолитную плиту и укладки фибробетонной смеси, обладают лучшими показателями по сравнению с показателями железобетонного пола, устраиваемого по традиционной технологии, в частности: прочность при сжатии повышается на 10–15 %, прочность на растяжение при изгибе на 35–50 %, истираемость – 15–25 %. Доказано, что прочность на сдвиг слоев износа и бетона монолитной плиты составляет 2,5–3 МПа, что обеспечивает их работу по однослойной схеме. Высокие физико-механические свойства слоя износа обеспечивают значительное увеличение срока эксплуатации (в 2,5–3 раза) (по результатам мониторинга и проверки разработанной технологии) и повышают долговечность покрытий.

5. Разработанные схемы производства работ по устройству полов промышленных зданий по совмещенной технологии бетонирования монолитной плиты и слоя износа уменьшают количество арматуры за счет внедрения технологических решений совместной работы слоев в покрытии и обеспечивают значительный период эксплуатации и долговечность покрытий. Проверка в производственных условиях показала следующие результаты: сокращение времени устройства 100 м² пола на 5–10 % по сравнению с традиционной технологией, уменьшение приведенных затрат на производство покрытий на 20–30 %.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах, рекомендованных ВАК

1. Войлоков, И.А. Повышение качества и долговечности эксплуатации покрытий промышленных полов /И.А. Войлоков // Строительные материалы. – №7. –2008. –С.48-51.
2. Войлоков, И.А. Композитное армирование бетонов /И.А. Войлоков // Строительные материалы. –№6. –2009. –С.48-51.
3. Войлоков, И.А. Влияние технологических факторов на качество покрытий полов из фибробетона /Л.М. Колчеданцев, И.А. Войлоков, А.М. Горб // Строительные материалы. –№8. –2010. –С.34-37. –0,2 п.л./0,1 п.л.
4. Войлоков, И.А. Сталефибробетон в слоях износа покрытий промышленных полов /И.А. Войлоков //Промышленное и гражданское строительство. –№9. –2010. –С.64.

Публикации в других изданиях

5. Войлоков, И.А. Применение композитов на основе дисперсно-армированных бетонов при устройстве полов в зданиях производственно – складского назначения / И.А.Войлоков, А.М. Горб // Мир строительства и недвижимости. – №33. –2009. –С.27-33.
6. Войлоков, И.А. Правильное проектирование как решение вопроса долговечности эксплуатации промышленных полов / И.А.Войлоков, А.М. Горб //Технологии бетонов. – №6. –2009. –С.10-12.
7. Войлоков, И.А. Нормативное обеспечение внедрения сталефибробетона в строительстве, часть 1 / И.А.Войлоков //Технологии бетонов. – №2. –2009. –С.8-9.
8. Войлоков, И.А. Нормативное обеспечение внедрения сталефибробетона в строительстве, часть 2 / И.А.Войлоков //Технологии бетонов. – №3. –2009. –С.32-34.
9. Войлоков, И.А. Промышленные бетонные полы вопросы проектирования часть 2 / И.А.Войлоков, А.М. Горб //Стройпрофиль. –№4(74). –2009. –С.44-45.
10. Войлоков, И.А. Промышленные бетонные полы: вопросы проектирования, часть 1 / И.А.Войлоков, А.М. Горб //Стройпрофиль. –№3(73). –2009. –С.36-37. – 5 п.л./2,5 п.л.
11. Войлоков, И.А. Армирование фиброй как средство улучшения коррозионной стойкости бетона / И.А. Войлоков //Инфстрой. –№3(33). –2007. –С.42-44.
12. Войлоков, И.А. Влияние типоразмера фиброармирующих волокон на прочность сталефибробетона / И.А. Войлоков // Экспозиция. Бетоны и сухие смеси. –№24/Б(44). –2007. –С.4-6.
13. Войлоков, И.А. Промышленные полы: виды и технологии / И.А. Войлоков //Стройпрофиль. –№7(61). –2007. –С.67-69.
14. Войлоков, И.А. Промышленные покрытия полов проблемы и их решение на рубеже веков / И.А. Войлоков //Стройпрофиль. –№2(64). –2008. –С.108-110.
15. Войлоков, И.А. Промышленные полы в паркингах и на автостоянках / И.А. Войлоков, А.С. Горшков //Стройпрофиль. –№4(66). –2008. –С.33-35. –0,7 п.л./0,35 п.л.
16. Войлоков, И.А. Расширение применения фибры в различного вида конструкций /И.А. Войлоков //Тезисы докладов 2-й межрегиональной научно-практической конференции «Развитие монолитного домостроения в жилищно-гражданском строительстве»/ Ленниипроект. Санкт-Петербург, -24-27 марта. –2009. –С.48-53.
17. Войлоков, И.А. Подбор состава сталефибробетона /И.А.Войлоков, А.Ю. Ковалева // Экспозиция. Бетоны и сухие смеси. – №2Б(85). –2009. –С.8-10. – 0,5 п.л./0,25 п.л.
18. Войлоков, И.А. Промышленные полы: конструкция, технология и виды покрытий /И.А. Войлоков // Популярное бетоноведение. –№1. –2009. –С.111-115.
19. Войлоков, И.А. Промышленные полы со слоем износа из фибробетона. / Н.И.Ватин И.А. Войлоков // Стройпрофиль. –№7(53). –2006. –С.54-55. –0,4 п.л./0,2 п.л.
20. Войлоков, И.А. Промышленные полы со слоем износа из фибробетона. / Н.И. Ватин, И.А. Войлоков //Стройпрофиль. –№8(54). –2006. –С.53-57. –0,3 п.л./0,15 п.л.
21. Войлоков, И.А. Техничко-экономическое обоснование применения сталефибробетона в конструкциях промышленных полов / И.А. Войлоков, А.М. Горб // Доклады 2-го международного симпозиума «Проблемы современного бетона и железобетона»/ Минск, 2009. –С.187-199. –4 п.л./2 п.л.
22. Войлоков, И.А. Влияние технологических факторов на качество покрытий полов из фибробетона /Л.М. Колчеданцев, И.А. Войлоков, А.М.Горб // Доклады 67-й научной конференции СПбГАСУ. –2010. –С52-54. –0,9 п.л./0,3 п.л.
23. Войлоков, И.А. Вопросы обеспечения долговечности и эксплуатационной надежности полов производственных зданий / И.А. Войлоков, А.М. Горб // Склад и техника. –№4. –2010. –С.38-43. –0,6 п.л./0,3 п.л.
24. Войлоков, И.А. Вопросы повышения эксплуатационной надежности швов в бетонных полах промышленных зданий / И.А. Войлоков, А.М. Горб // Склад и техника. –№3. –2010. –С.40-43. –0,8 п.л./0,4 п.л.
25. Войлоков, И.А. Применение композитов на основе дисперсно армированных бетонов при устройстве полов в зданиях производственно складского назначения /И.А. Войлоков, А.М. Горб // Мир строительства и недвижимости. – №33. –2009. –С.27-33. –0,7 п.л./0,35 п.л.
26. Войлоков, И.А. Разъяснения по вопросу сбора нагрузок и составления технического задания на проектирование полов в складских помещениях, оборудованных многоярусными сборными стеллажами / И.А. Войлоков, А.М. Горб // Склад и техника. –№8. –2009. –С.40-42. –0,8 п.л./0,4 п.л.

Компьютерная верстка И. А. Яблоковой

Подписано к печати 20.11.2012. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,4. Тир. 120 экз. Заказ 161.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.

190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на ризографе. 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 5.

