

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО - СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

На правах рукописи

Федулов Евгений Сергеевич

**ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА АНКЕРНЫХ КРЕПЛЕНИЙ В
ГАЗОБЕТОННЫЕ НЕСУЩИЕ И ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ
МЕТОДОМ НАГНЕТАНИЯ**

Специальность 05.23.08 – Технология и организация строительства

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Верстов В.В.

Санкт-Петербург – 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ АНКЕРНЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ УСТРОЙСТВА НА ПОРИСТЫЕ ОСНОВАНИЯ.....	13
1.1 Анкерные системы и способы монтажа в пористые материалы...	13
1.2 Обзор механики разрушения анкерных креплений и влияние конструктивных элементов анкеров на способы монтажа.....	25
1.3 Подходы к расчету несущей способности анкерных креплений при устройстве в поризованные основания.....	30
1.4 Пути повышения надежности и несущей способности анкерных креплений.....	33
Выводы по первой главе.....	34
ГЛАВА 2. НОВАЯ УЛУЧШЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА АНКЕРНЫХ КРЕПЛЕНИЙ – РАЗРАБОТКА И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ.....	36
2.1 Теоретические предпосылки для разработки нового метода устройства анкерных креплений на пористые основания.....	37
2.2 Новая улучшенная технология устройства анкерных креплений в газобетонных изделиях методом нагнетания.....	46
2.3 Теоретическое обоснование параметров процессов перемещения жидкостей в пористых основаниях.....	51
Выводы по второй главе.....	62
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА АНКЕРНЫХ КРЕПЛЕНИЙ МЕТОДОМ НАГНЕТАНИЯ.....	63
3.1 Обоснование технологических параметров.....	63
3.2 Экспериментальный стенд.....	67
3.3 Методика проведения испытаний.....	78
3.4 Анализ результатов экспериментальных данных.....	84

Выводы по третьей главе.....	108
ГЛАВА 4. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ КРЕПЛЕНИЯ АНКЕРНЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ НАГНЕТАНИЯ И ЕЁ ТЕХНИКО- ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ.....	110
4.1 Особенности технологии устройства анкерных креплений методом нагнетания.....	110
4.2 Технико-экономическое обоснование применения новой улучшенной технологии.....	115
4.3 Методы контроля качества устройства анкерных креплений в газобетон методом нагнетания.....	128
Выводы по четвертой главе.....	131
СПИСОК ТЕРМИНОВ.....	132
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	133
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	135
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Патент на изобретение №2014153037.....	148
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Акт о производственной апробации разработанной технологии.....	151
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Программа испытания кубов на сжатие.....	152
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Паспорта и сертификаты используемых газобетонных элементов и компонентов клеевых композиций.....	154
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Расчет прямых затрат на устройство навесного вентилируемого фасада.....	160
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Технологический регламент.....	161

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования Актуальность исследования. Вопрос обеспечения высокой надежности крепления фасадных систем к ограждающим конструкциям из газобетона при воздействии повышенных нагрузок на них требует глубокой проработки в целях обеспечения безопасности зданий и сооружений [92].

С учетом невысоких прочностных и деформационных характеристик строительных изделий из газобетона необходима разработка специальных конструктивных и технологических решений при устройстве в них анкерных креплений [97]. Существующие способы устройства анкерных креплений при креплении в газобетон обладают рядом недостатков: снижение несущей способности с течением времени, значительное нарушение структуры базового материала при установке анкера, невозможность обеспечения достаточной зоны проникновения клеевой композиции в поровое пространство.

Невысокие прочностные и деформационные характеристики строительных изделий из газобетона требуют разработки специальных конструктивных и технологических решений при устройстве в них анкерных креплений. Существующие способы устройства анкерных креплений обладают рядом недостатков – снижение несущей способности со временем, значительное нарушение структуры базового материала при установке анкера, невозможность обеспечения достаточной зоны проникновения клеевой композиции в поровое пространство.

Таким образом, очевидна необходимость в разработке более совершенных технологических решений устройства анкерных креплений в газобетоне для обеспечения высоких и стабильных показателей несущей способности крепления наряду с сокращением стоимости и трудоемкости устройства креплений.

Основополагающими для настоящего диссертационного исследования явились работы Н.И. Ватина, В.В. Верстова, В.П. Вылегжанина, А. В. Грановского, Г.И. Гринфельда, А.А. Давидюка, Ю.Н. Казакова, Д.А. Киселева, В.А. Кузьмичева, Н.О. Куликовой, А.С. Малинкина, А.П. Меркина, В.И. Морозова, С.Н. Панарина,

В.А. Пинскера, А.Е. Пискуна, А.Ф. Питулько, Л.А. Прокудиной, Ю.В. Пухаренко, С.Б. Сапожников, Г.И. Шапиро, R. Eligehausen, I. Ioannou, G. Schober и др.

Целью диссертационной работы является проведение исследований, направленных на совершенствование и отработку конструктивных и технологических решений устройства анкерных креплений нагнетанием клеевой композиции в массив базового поризованного материала при рациональных параметрах технологического процесса, – плотности материала, вязкости клеевой композиции, значении избыточного давления нагнетания, времени нагнетания.

В соответствии с определенной целью были сформулированы следующие *задачи исследования*:

- выполнить классификацию существующих технологий устройства и технических средств первичных средств крепления навесных строительных конструкций;
- разработать более совершенные технологические решения устройства первичных средств крепления навесных строительных конструкций, отвечающих критерию повышения несущей способности;
- разработать способ подачи клеевой композиции в массив базового материала под избыточным давлением через специальные каналы в теле дюбеля, при возможности выдерживания избыточного давления необходимое время;
- рассмотреть теоретическую и физическую модели происходящих процессов, отвечающих методике выполнения экспериментальных исследований с использованием необходимых измерительных средств и обеспечивающих необходимый уровень достоверности;
- провести экспериментальные исследования предложенных решений, при этом определить рациональные физико-механические характеристики клеевой массы и массива базового материала, а также установить рациональные режимы нагнетания клеевой массы в массив базового материала при его исходной пористости;

– разработать технологический регламент по реализации новой усовершенствованной технологии устройства анкерных креплений в несущих и ограждающих строительных конструкциях.

Объект исследований – строительные технологические процессы при устройстве анкерного крепления в газобетонных изделиях способом нагнетания.

Предмет исследований – параметры технологических процессов при устройстве анкерной системы в газобетонных изделиях способом нагнетания; факторы, влияющие на конечную несущую способность анкерного крепления, установленного по новой усовершенствованной технологии.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Предложена гипотеза повышения несущей способности и надежности анкерных креплений в газобетонных конструкциях за счет вовлечения большего объема базового материала в работу путем пропитки клеевой композицией зоны базового материала, приконтактной к дюбелю. Разработан новый метод устройства анкерных креплений в газобетонных изделиях для монтажа навесных строительных конструкций и инженерных систем здания, обеспечивающий объемное проникновение клеевой композиции в поровое пространство газобетона при различных технологических параметрах – плотность газобетона, вязкость клеевой композиции, значение избыточного давления и время подачи композиции, – через дюбель усовершенствованной конструкции.

2. Разработаны и обоснованы физическая и математическая модели распространения клеевой композиции в поровом пространстве газобетона в зависимости от технологических параметров, позволяющие определить время движения клеевой композиции в нагнетательной установке и время её проникновения в поровую структуру газобетона.

3. Экспериментально установлена зависимость несущей способности анкерного крепления от технологических параметров. Исследована фактическая работа анкера под нагрузкой и разгрузкой и установлено, что анкер, установленный методом нагнетания, включается в работу сразу после приложения нагрузки. Предложены формулы, позволяющие прогнозировать

несущую способность анкера при различных физико-механических свойствах клеевой композиции, основания, времени подачи и значения избыточного давления.

4. Выявлены и экспериментально подтверждены рациональные технологические параметры режимов нагнетания клеевых композиций при устройстве анкеров методом нагнетания с учетом минимальных материальных, трудовых и энергозатрат, на основании которых разработан технологический регламент. Разработаны и сформулированы методы контроля качества анкерных креплений, установленных методом нагнетания.

Методологической основой исследования являются: анализ данных литературных и патентных источников, обобщение производственного опыта, математическое планирование экспериментальных исследований, проведение натуральных экспериментов, статистическая обработка полученных результатов. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях по стандартным и специальным методикам. По стандартным методикам исследовались: прочность газобетонных блоков, влажность пористого основания. По специальным методикам исследована зависимость нагрузка-деформация анкерного крепления на его вырыв из газобетонного блока.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК 05.23.08 – Технология и организация строительства, а именно: содержанию специальности по следующим основным направлениям: п.2 «Разработка конкурентоспособных новых и совершенствование существующих технологий и методов производства строительного-монтажных работ на основе применения высокопроизводительных средств механизации и автоматизации»; п.4. «Теоретические и экспериментальные исследования эффективности технологических процессов; выявления общих закономерностей, путей моделирования и оптимизации организационно-технологических решений».

Теоретическое и практическое значение исследования

Разработан и запатентован в соавторстве новый метод устройства анкерных креплений в газобетонных изделиях методом нагнетания;

Разработаны и обоснованы физическая и математическая модели распространения клеевой композиции в поровом пространстве газобетона в зависимости от технологических параметров, позволяющие определить время движения клеевой композиции в нагнетательной установке и время её проникновения в поровую структуру газобетона;

Предложены формулы, позволяющие прогнозировать несущую способность анкера при различных физико-механических свойствах клеевой композиции, основания, времени подачи и значения избыточного давления;

Установлено повышение несущей способности анкерного крепления на 4,2% по сравнению с наиболее прогрессивными технологиями устройства анкерных креплений в газобетонные изделия.

Получен экономический эффект от внедрения предложенного технологического решения в виде сокращения стоимости 8,2% при монтаже 1 кв.м. навесного вентилируемого фасада при незначительно возрастающей трудоемкости.

Разработаны методы контроля качества устройства анкерных креплений методом нагнетания.

Внедрен технологический регламент по устройству анкерных креплений в несущих и ограждающих конструкциях из газобетона методом нагнетания», который утвержден ООО «Центр экспертизы и проектирования строительных конструкций» // ООО «ЦЭиПСК» и использован в рамках выполнения раздела ППР: «Рабочий проект на устройство навесных вентилируемых фасадов без утепления входной группы частного жилого дома, расположенного по адресу: Ленинградская область, п.г.т. Лебяжье, ТПЛХ “Авиатор”, участок 208».

Положения, выносимые на защиту:

1. Предложена гипотеза повышения несущей способности и надежности анкерных креплений в газобетонных конструкциях за счет вовлечения большего объема базового материала в работу путем пропитки клеевой композицией зоны базового материала, приконтантной к дюбелю. Разработан новый метод

устройства анкерных креплений в газобетонных изделиях для монтажа навесных строительных конструкций и инженерных систем здания, обеспечивающий объемное проникновение клеевой композиции в поровое пространство газобетона при различных технологических параметрах – плотность газобетона, вязкость клеевой композиции, значение избыточного давления и время подачи композиции, – через дюбель усовершенствованной конструкции.

2. Разработаны и обоснованы физическая и математическая модели распространения клеевой композиции в поровом пространстве газобетона в зависимости от технологических параметров, позволяющие определить время движения клеевой композиции в нагнетательной установке и время её проникновения в поровую структуру газобетона.

3. Экспериментально установлена зависимость несущей способности анкерного крепления от технологических параметров. Исследована фактическая работа анкера под нагрузкой и разгрузкой и установлено, что анкер, установленный методом нагнетания, включается в работу сразу после приложения нагрузки. Предложены формулы, позволяющие прогнозировать несущую способность анкера при различных физико-механических свойствах клеевой композиции, основания, времени подачи и значения избыточного давления.

4. Выявлены и экспериментально подтверждены рациональные технологические параметры режимов нагнетания клеевых композиций при устройстве анкеров методом нагнетания с учетом минимальных материальных, трудовых и энергозатрат, на основании которых разработан технологический регламент. Разработаны и сформулированы методы контроля качества анкерных креплений, установленных методом нагнетания.

Достоверность результатов исследований подтверждается использованием метода математического планирования экспериментов и проведением экспериментальных исследований с использованием поверенных приборов; выполнением статистической обработки полученных экспериментальных данных и установлением аналитических зависимостей для

расчета параметров строительного процесса. Для обработки данных использовалось современное программное обеспечение: *Curve Expert 1.3*, *Comsol Multiphysics*.

Апробация и публикация работы. Основные результаты исследований доложены на 68-м и 70-м Международном конгрессе «Актуальные проблемы строительства» (СПбГАСУ 2013, 2015 г.), III международном конгрессе студентов и молодых ученых (аспирантов, докторантов) (СПбГАСУ, 2014), 71-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов (СПбГАСУ, 2015), XXIII Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты» (Новосибирск, 2015). Разработан и внедрен «Технологический регламент по устройству анкерных креплений в несущих и ограждающих конструкциях из газобетона методом нагнетания», который утвержден ООО «Центр экспертизы и проектирования строительных конструкций» // ООО «ЦЭиПСК» и принят ко внедрению при разработке раздела ППР на устройство навесных вентилируемых фасадов без утепления входной группы частного жилого дома, что подтверждается актом внедрения.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований, сформулирована научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе раскрыта актуальность научных исследований на основании анализа существующих способов и технологий устройства анкерных креплений, показаны их достоинства и недостатки, ограниченная область их применения. Произведен обзор средств и способов установки первичных средств крепления на изделия из газобетона. Сформулированы пути совершенствования существующих анкерных креплений.

Во второй главе приведены предпосылки возможности повышения качества конструктивно-технологических устройства анкерных креплений в газобетонных элементах методом нагнетания. Исследованы технические характеристики газобетона и клеевых композиций. Представлены достоинства,

недостатки и область применения различных клеевых композиций. Сформулированы требования к строительным растворам при использовании их в технологии устройства анкерных креплений методом нагнетания. Разработан новый способ устройства анкерных креплений с учетом указанных требований. Предложена физическая модель проникновения композиции в поровую структуру материала. Приведены прикладные зависимости, позволяющие определять оптимальное время нагнетания.

В третьей главе описан лабораторный экспериментальный стенд и перечень технологических операций по устройству анкерных креплений методом нагнетания. Приведены технологические операции при установке креплений. Определен объем комбинаций технологических параметров, позволяющий многогранно исследовать необходимые зависимости. Рассмотрена методика проведения испытания анкера на вырыв, позволяющая выявить фактическую схему работы анкера под нагрузкой с возможностью фиксации остаточных деформаций. Приведены результаты испытаний анкерных креплений на вырыв. Получены основные зависимости несущей способности анкерных креплений от технологических режимов. Построены графики, позволяющие провести качественный и количественный анализ эффективности новой технологии, а также определить рациональные технологические параметры – плотность материала, вязкость клеевой композиции, значение избыточного давления нагнетания, время нагнетания. Путем аппроксимации данных испытаний представлены аналитические зависимости, позволяющие прогнозировать несущую способность анкерного крепления в зависимости от технологических режимов нагнетания. Приведены рекомендации по подбору технологических режимов нагнетания клеевых композиций.

В четвертой главе проведено технико-экономическое сравнение вариантов устройства анкерных креплений при монтаже навесных вентилируемых фасадов. Рассмотрено формирование трудозатрат при различных вариантах крепления. Разработаны технологические указания по устройству анкерных креплений в газобетонных основаниях по критерию

несущей способности. Разработаны методы контроля качества установленных анкерных креплений.

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 9 печатных работах общим объемом 2,22 п. л., из них лично автором 1,97 п. л., в том числе 4 работы – в изданиях по перечню ВАК РФ. Получен патент «Способ установки анкерного крепления», заявка №2014153037 с приоритетом от 25.12.2014, авторы В.В. Верстов, Е.С. Федулов, А.С. Шеховцов. Решение Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатент) о выдаче патента от 25.01.2016.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, основных выводов, списка литературы, включающего 121 наименований, 6 приложений. Общий объем диссертации составляет 173 страниц (шрифт Times New Roman, 14 пт.), в том числе 28 страниц приложений. В работе представлено 56 рисунков, 38 таблиц, 22 формулы.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ АНКЕРНЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ УСТРОЙСТВА НА ПОРИСТЫЕ ОСНОВАНИЯ

1.1 Анкерные системы и способы монтажа в пористые материалы

Использование первичных средств крепления при возведении строительных конструкций обеспечивает возможность расширить вариативность сопряжения элементов зданий. Анкерные системы являются незаменимым элементом сопряжения вновь устраиваемых строительных конструкций с ранее возведенными. Основополагающими для настоящего диссертационного исследования явились работы Н.И. Ватина, В.В. Верстова, В.П. Вылегжанина, А. В. Грановского, Г.И. Гринфельда, А.А. Давидюка, Ю.Н. Казакова, Д.А. Киселева, В.А. Кузьмичева, Н.О. Куликовой, А.С. Малинкина, А.П. Меркина, В.И. Морозова, С.Н. Панарина, В.А. Пинскера, А.Е. Пискуна, А.Ф. Питулько, Л.А. Прокудиной, Ю.В. Пухаренко, С.Б. Сапожников, Г.И. Шапиро, R. Eligehausen, I. Ioannou, G. Schober и др.

Крепления для строительных конструкций могут быть использованы при монтаже навесных строительных конструкций, строительных лесов, металлических каркасов, подвесок для инженерных систем зданий, устройства отделочных элементов. Первоначально, в 50-60-х гг. XIX в. крепление конструкций осуществлялось с помощью устройства деревянных шпонок, в которые далее забивали гвозди. Данная технология имела весьма ограниченное применение и использовалась, как правило, в отделке.

Следующим этапом развития крепежной техники явилось устройство анкеров с помощью пристрелки пороховым пистолетом [42, 43]. Применение данного пистолета на строительной площадке требовало специальной квалификации рабочего и разрешение на применение пистолета. Данный пистолет приравнивался к огнестрельному оружию и был источником опасности при монтаже дюбелей ввиду возможности отскока от крупной фракции щебня в теле бетона.

В целом, возможно выделить основные направления современного развития крепежной техники, дюбелей и анкерных систем, отличительными особенностями которого являются:

- устройство лидерного отверстия;
- наполнение лидерного отверстия строительным (вяжущим, клеевым) раствором;
- устройство лидерного отверстия конусной формы;
- конструкция дюбелей, подверженная значительной деформации при креплении (устройство анкерных крепления многослойных или гипсокартонных элементах).

Необходимо отметить, что на современном этапе развития науки и техники, навесные вентилируемые фасады (далее НВФ) [32, 55, 93] получили широкое распространение в качестве эффективной и прогрессивной технологии отделки фасадов здания [32]. Совместно с вопросом применения НВФ встает вопрос обеспечения надежности строительных конструкций в целом [92], его узлов [28, 29, 95] на газобетон при технической возможности строительства полносборных зданий из газобетона [5]. Одним из критериев, обеспечивающих общую надежность строительных конструкций является обеспечение надежности анкерного крепления, которое может быть одной из причин разрушения фасадов здания [39, 54, 115].

Способ установки и тип применяемого анкерного крепления оказывают влияние на общую несущую способность и надежность здания при эксплуатации. Автором проведен анализ существующих конструкций дюбелей и технологий по их устройству и полученные данные систематизированы по укрупненным признакам (см. таблицу 1). Целью данной таблицы является показать читателю общую картину существующих типов и способов устройства анкерных креплений. Наиболее полная классификация приведена в работе В.В. Верстова и А.Ф. Питулько [10].

Таблица 1 – Принципиальная классификация анкерных креплений по способу их установки

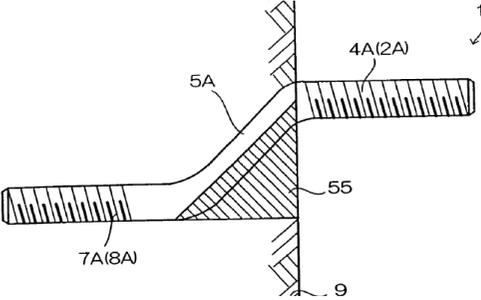
Тип анкерного крепления	Подтип анкерного крепления
1	2
1. Закладные устройства	1.1. Анкера со сквозной установкой 1.2. Анкера замочного крепления 1.3. Закладные шпильки
2. Анкера, устанавливаемые после возведения основных конструкций	2.1. Анкеры трения 2.2. Анкеры с подрезкой базового основания 2.3. Химические анкеры 2.4. Комбинированные химические анкеры 2.5. Анкер-шуруп
3. Анкера, устанавливаемые пристрелкой	-

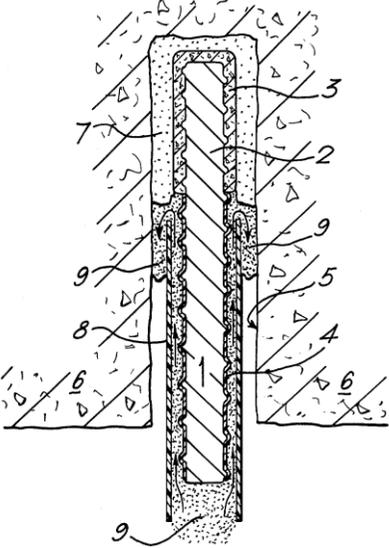
Дополнительно возможно расширить приведённую классификацию в части конструкции анкерных креплений, видов используемых химических и клеевых составов, способов передачи усилий на базовый материал. Данная информация приведена в литературе [10, 26, 117].

Далее автором рассматриваются прикладные и современные технологии устройства анкерных креплений с целью выявления их достоинств и недостатков (см. таблицу 2).

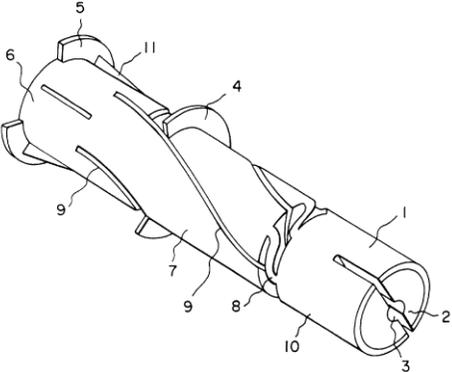
Научный обзор в таблице 2 составлена на основании анализа данных литературных и патентных источников, обобщение производственного опыта.

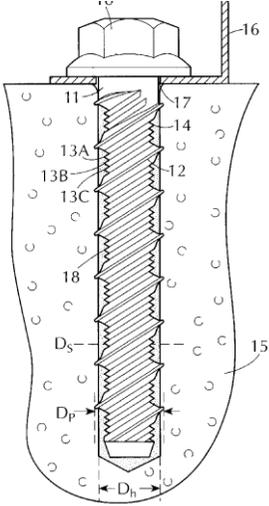
Таблица 2 – Сравнительная таблица конструкций дюбелей и технологий их устройства

№п/п	Наименование	Принципиальное изображение	Достоинства	Недостатки
1	2	3	4	5
1	Дюбеля с распорной рабочей частью (дюбеля трения)		<ul style="list-style-type: none"> – Низкая стоимость; – Низкие трудозатраты при установке анкера; – Не требует специальных приспособлений для монтажа 	<ul style="list-style-type: none"> – Низкая несущая способность; – Нестабильные прочностные свойства во времени; – Крайне низкая сопротивляемость динамическим и ударным воздействиям; – Малая зона упругой работы анкера под нагрузкой; – Возможен приворот дюбеля при закручивании в него самореза; – Необходимость тщательной продувки и прочистки отверстия
2	Анкерное крепление и способ его установки [63]		<ul style="list-style-type: none"> – Имеется возможность обходить армирование в материале; – За счет увеличения дополнительного элемента может быть увеличена площадь смятия материала на срез 	<ul style="list-style-type: none"> – Наличие дополнительного армированного элемента; – При работе анкера на вырыв имеется снятие прилегающей к пяте анкера зоне материала; – Сложность устройства треугольного отверстия в материале; – Значительное нарушение защитного слоя бетона над арматурой;

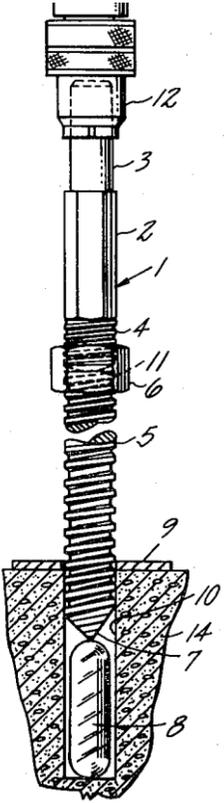
№п/п	Наименование	Принципиальное изображение	Достоинства	Недостатки
1	2	3	4	5
				<ul style="list-style-type: none"> – Возможность разуплотнения контакта бетон – дополнительный армированный элемент
3	Способ крепления анкера, устанавливаемого в отверстие [66]		<ul style="list-style-type: none"> – Возможность контролировать наполнение отверстия строительным раствором; – Возможность обеспечить целостность схватившегося строительного раствора ввиду постепенного изъятия полый втулки; – Возможность использования шпилек с различными видами навивки 	<ul style="list-style-type: none"> – Необходимость подачи клеевого раствора через специальную втулку; – Сложная реализация на строительной площадке ввиду большого набора действий рабочего: наполнение лидерного отверстия с одновременным извлечением полый втулки; – Возможность извлечения втулки под углом, что может сказаться на равномерности заполнения лидерного отверстия
4	SX нейлоновый дюбель [98]		<ul style="list-style-type: none"> – Простота монтажа; – Универсальность применения дюбеля 	<ul style="list-style-type: none"> – Крошение поризованного основания при устройстве, и, как следствие, снижение несущей способности; – Наличие монтажных напряжений в прилегающем массиве материала; – Низкая несущая способность и надежность

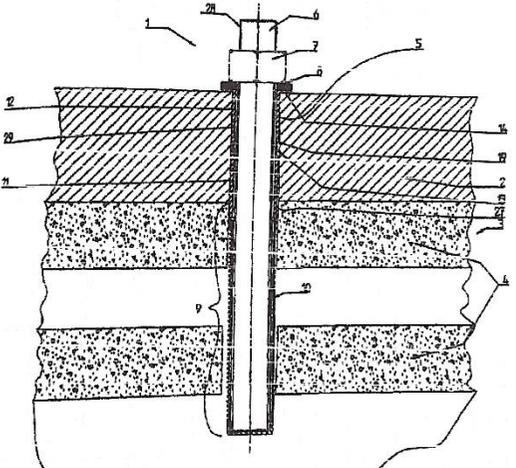
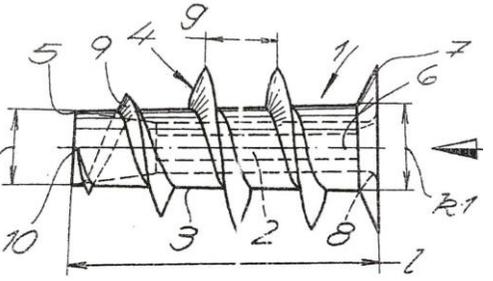
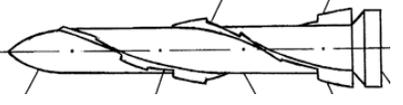
№п/п	Наименование	Принципиальное изображение	Достоинства	Недостатки
1	2	3	4	5
5	GB дюбель для газобетона		<ul style="list-style-type: none"> – Простота монтажа; – Увеличение объема вовлекаемого материала в работу 	<ul style="list-style-type: none"> – Возможность раскручивания установленного анкера; – При использовании в материалах с низкими плотностями, может наблюдаться крошение значительной прилегающего объёма материала; – Необходимость лидерного отверстия; – Малая возможная глубина анкеровки; – Гладкая поверхность анкера; – Значительное количество разрушенного материала при установке анкера, который может нарушить также прилегающий объем основания, а не только заполнить его поры; – Отсутствие нарезающего первого витка спирали; – Повышенные трудозатраты при вворачивании ввиду необходимости приложения значительной продольной нагрузки при завинчивании

№п/п	Наименование	Принципиальное изображение	Достоинства	Недостатки
1	2	3	4	5
6	<i>Sormat kbt 6</i> [121]		<ul style="list-style-type: none"> – Простота монтажа; – Наличие пылесборников на теле дюбеля; – Незначительные монтажное напряжение в теле материала ввиду отсутствия расширения тела дюбеля при установке самореза; 	<ul style="list-style-type: none"> – Необходимость иметь дополнительный инструмент закручивания – шестигранный ключ; – Возможность раскручивания устроенного крепления под действием динамических нагрузок; – Малый шаг между выступами спирали, как следствие, малая площадка среза материала между выступами
7	Анкер раскрывающимися элементами [69]		<ul style="list-style-type: none"> – Нормально выступающие элементы после установки самореза позволяют обеспечить их большее проникновение в базовый материал; – Уточненная часть тела дюбеля позволяет дополнительно затянуть анкерного крепление при ввинчивании самореза. Контрупором служит расширяющаяся пята дюбеля 	<ul style="list-style-type: none"> – Ввиду невысокой жесткости выступающих элементов возможно их деформирование при приложении нагрузки; - Наличие дополнительных монтажных напряжений в пята анкерного крепления
7	МЖР Джет-Плаг [116]		<ul style="list-style-type: none"> – Наличие заостренного наконечника специальной формы, позволяющего устанавливать анкерное крепление без устройства 	<ul style="list-style-type: none"> – Ограниченная область применения – высокодеформируемые материалы; – Небольшая зона вовлечения

№п/п	Наименование	Принципиальное изображение	Достоинства	Недостатки
1	2	3	4	5
			<p>лидерного отверстия;</p> <ul style="list-style-type: none"> – Малое количество вспомогательного инструмента, необходимого при монтаже; – Отсутствие пыли при установке анкера 	<p>прибегающего объема материала;</p> <ul style="list-style-type: none"> – Наличие монтажных напряжений в базовом материале ввиду конической формы тела анкера
8	Химический анкер типа саморез для кладки [68]		<ul style="list-style-type: none"> – Наличие полостей между большими выступами спирали, через которые клеевой раствор наиболее полно проникает в указанные полости; – Наличие навивки между большими выступающими элементами спирали, которые обеспечивают большой контакт между клеевым раствором и телом анкера; – За счет наличия строительного раствора отсутствует вероятность раскручивания соединения; – Обеспечение дополнительного перемешивания строительного раствора; – Возможность предварительного крепления строительных конструкций, за счет наличия первоначальной несущей 	<ul style="list-style-type: none"> – Затруднен контроль вертикальности установки анкерного болта; – Необходимо наличие мощного, энергос затратного инструмента для вворачивания; – Невозможность удаления раскошенного материала и пыли в ходе вворачивания анкерного болта; – Ввиду малых габаритов выступающих элементов спирали затруднено (фактически невозможно) вворачивание данного анкерного болта в легкие поризованные материалы

№п/п	Наименование	Принципиальное изображение	Достоинства	Недостатки
1	2	3	4	5
			<p>способности, обеспеченной большими выступающими элементами спирали (данное преимущество может быть реализовано при креплении в прочные, тяжелые бетоны)</p>	
9	<p>Полимерный капсульный анкер и способ установки [70]</p>		<ul style="list-style-type: none"> – Возможность создания избыточного давления для организации более полного проникновения строительного раствора в прилегающий массив базового материала; – Повышенная несущая способность; – Возможность применения в плотных и пористых материалах; – Отсутствие возможности раскручивания анкерного крепления 	<ul style="list-style-type: none"> – Невозможность регулирования избыточного давления клеевого раствора; – Возможность разгерметизации (снижения рабочего давления) через сопряжение втулка-болт, втулка-базовый материал; – Значительное количество элементов в узле анкерного крепления; – Отсутствие дополнительного прочностного соединения болт-втулка; – Невозможность обеспечить герметичность на первом этапе завинчивания анкерного крепления ввиду отсутствия распора от болта.

№п/п	Наименование	Принципиальное изображение	Достоинства	Недостатки
1	2	3	4	5
10	Химический анкер [67]		<ul style="list-style-type: none"> - Для наличия химического раствора в отверстии не требуется его нагнетание; - Возможность контролировать в заводских условиях состав и технические характеристики капсулы с клеевым раствором; - Низкие трудозатраты при устройстве анкерного крепления; - Возможно использование клеевых составов с малой жизнеспособностью 	<ul style="list-style-type: none"> - Невозможность контролировать глубину проникновения клеевого раствора; - Невозможность контролировать качество проникновения строительного раствора; - После завинчивания шпильки внутри отверстия остается оболочка капсулы, влияние которой на несущую способность анкерного крепления необходимо оценить дополнительно; - Включение всей глубины анкерной капсулы возможно лишь при избыточном количестве клея; - Не представляется возможным создать избыточное давление для более глубокого проникновения клея в базовый материал;

№п/п	Наименование	Принципиальное изображение	Достоинства	Недостатки
1	2	3	4	5
11	Инжекционная крепежная система и способ инъекционного крепления [65]		<ul style="list-style-type: none"> – Возможность крепления в многослойные конструкции ввиду того, что полое устройство имеет замкнутый контур и единственное отверстие для устройства шпильки; – Значительное количество приспособлений при производстве монтажных работ 	<ul style="list-style-type: none"> – Ограниченное проникновение клеевого раствора в базовый материал при использовании в однородных материалах ввиду проникновения под малым избыточным давлением, образуемым при вворачивании шпильки
12	Дюбель для установки в пористые или выкрашивающиеся материалы [71]		<ul style="list-style-type: none"> – Легкость монтажа; – Наличие нарезающего первого витка; – Более плотное обжатие последующих витков 	<ul style="list-style-type: none"> – Наличие монтажные усилий в базовом поризованном материале; – Возможно обратное раскручивание анкерного крепления; – Невысокое вовлечение в работу глубокой части базового материала ввиду наличия спирали первого шага уменьшенных габаритов
13	Дюбель для крепления навесных конструкций [11]		<ul style="list-style-type: none"> – Низкие трудозатраты при установке дюбеля; – Вовлечение большего объема прилегающего материала в работу 	<ul style="list-style-type: none"> – Возможно крошение базового поризованного материала при устройстве анкера; – Наличие монтажных усилий

№п/п	Наименование	Принципиальное изображение	Достоинства	Недостатки
1	2	3	4	5
			<p>(при установке в тяжелые бетоны);</p> <ul style="list-style-type: none"> – Наряду с распорным усилием в дюбеле используется сопротивление выступов на спирали, которые работают на срез, что повышает несущую способность анкера 	<p>(силы трения), которые сказываются на эксплуатационных свойствах анкера в легких поризованных материалах;</p> <ul style="list-style-type: none"> – Наличие пыли

1.2 Обзор механики разрушения анкерных креплений и влияние конструктивных элементов анкеров на способы монтажа

Вопросы работы механических и химических анкеров широко рассматриваются в строительной области [24, 80, 104, 105, 120, 123]. Механика разрушения систематизирована в работе [117] и приведена на рисунке 1.

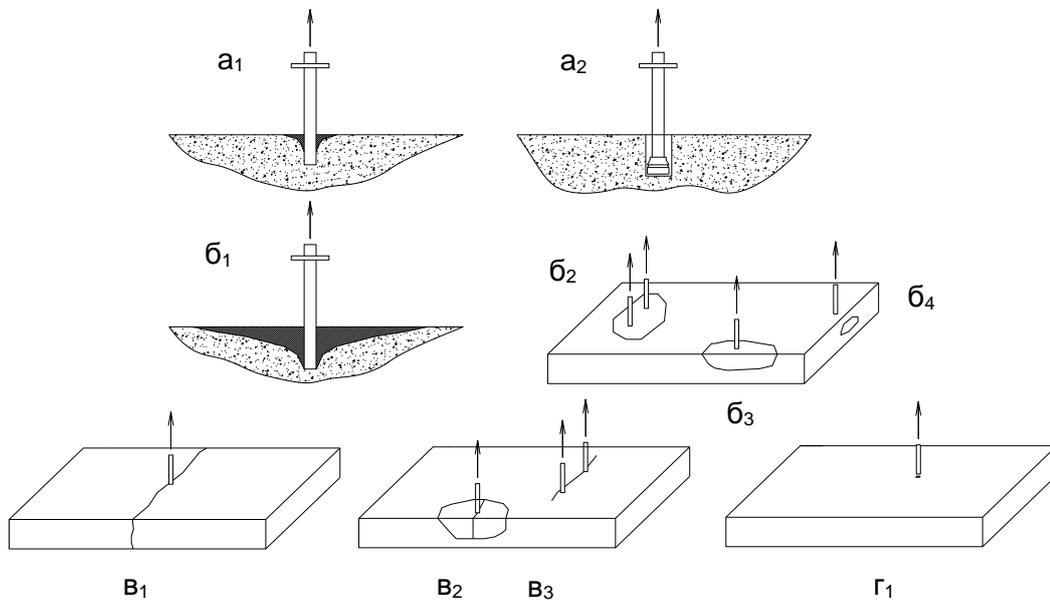


Рисунок 1 – Характер разрушения анкерных креплений: $a_{1,2}$ – проскальзывание анкера; $б_1$ – разрушение с конусом отрыва, $б_{2,3,4}$ – варианты с краевым разрушением; $в_{1,2,3}$ – варианты с разрушением базового материала; $г_1$ – разрушение по телу анкерного крепления

Каждое из видов разрушения анкерных креплений имеет индивидуальную (уникальную) характерную зависимость нагрузка-деформация (см. рисунок 2). Зависимости, приведенные на указанном рисунке, адекватно отражают статическую работу анкера при линейно прикалываемой нагрузке. Принципиальный характер при динамических, ударных, вибрационных, разнонаправленных нагрузках и их комбинациях должны быть дополнительно изучены. Как правило, схемы разрушения анкеров могут быть сформированы в четыре группы [122]. Каждая группа схем разрушения анкеров характеризуется

уникальной диаграммой нагрузка-деформация. В качестве перемещения анкера принимается смещение дюбеля (анкерной втулки) относительно общего недеформируемого объема бетонного блока и деформации самого анкера, анкерной втулки или дюбеля.

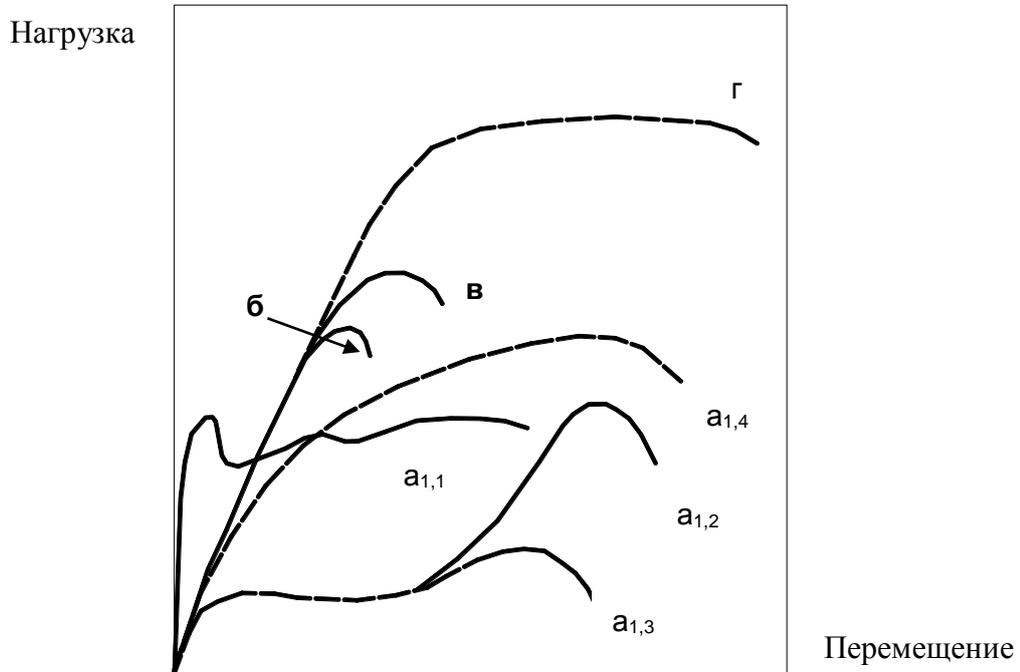


Рисунок 2 – Идеализированные диаграммы «нагрузка-перемещение» для различных видов разрушения (пояснения по наименованиям приведены далее в тексте)

Группа кривых a_{1-4} показывает разрушение за счет проскальзывания анкера из лидерного отверстия.

a_1 – Кривая с ярко выраженными пиками отражает проскальзывание анкера при сохранении определённого уровня несущей способности. Например, при использовании анкеров с контролируемым моментом затяжки данная кривая свидетельствует о недостаточном моменте затяжки.

$a_{2,3}$ – показывают площадку обжатия окружающего материала, что может быть связано с недостаточно ровной поверхностью установки испытывающего оборудования или неточностью, браком монтажа.

a_4 – данная зависимость указывает на несовершенство конструкции анкера, предельная несущая способность по телу материала не достигнута.

б – механика разрушения с отрывом конуса. До момента разрушения анкерная система работает упруго (линейно-восходящая часть графика). В тот момент, когда предельная несущая способность бетона на растяжение исчерпывается, наблюдают хрупкое разрушение.

в – данный тип разрушения может коррелировать с расположением анкера близко к краевой поверхности. В целом имеется каким-либо образом уменьшенный конус отрыва.

г – Разрушение по металлу анкера. Имеет место площадка текучести присущая разрушению стальных элементов.

В работе [120] рассматривается развитие трещин в тяжелом бетоне методом конечных элементов с учетом концентраторов напряжения. Результатом статьи явилась модель развития трещины в бетоне при воздействии на анкер вырывающего усилия (см. рисунок 3). Граничные условия при исследовании в указанной работе близки методу закрепления газобетонных образцов и имеют хорошую сходимость, что будет показано далее.

В настоящее время разработано значительное количество способов крепления строительных материалов, элементов в материалы с различными прочностными и деформационными характеристиками (см. раздел 1.1). Распространённые варианты нагружения приведены на рисунке 4.

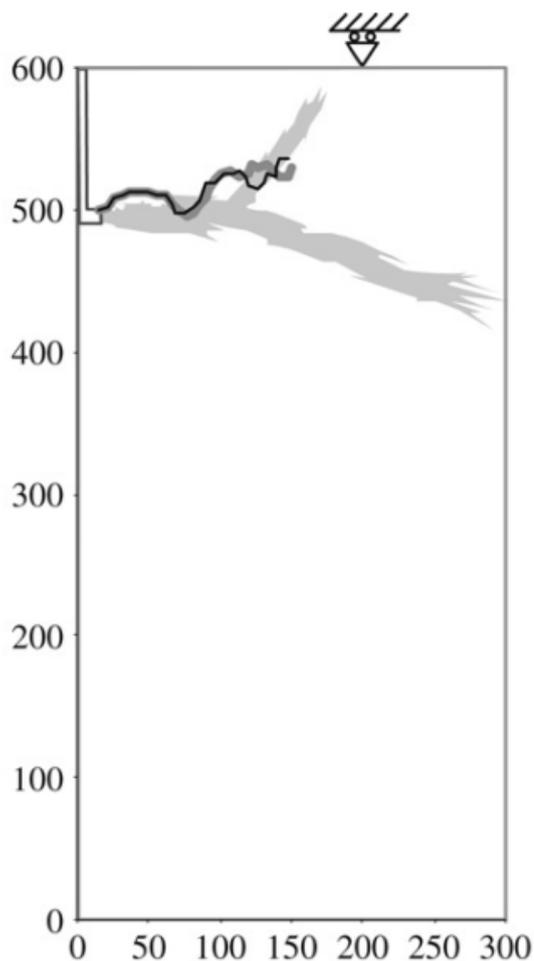


Рисунок 3 – Схема развития трещины в бетоне от приложенной нагрузки на анкер на вырыв [110]

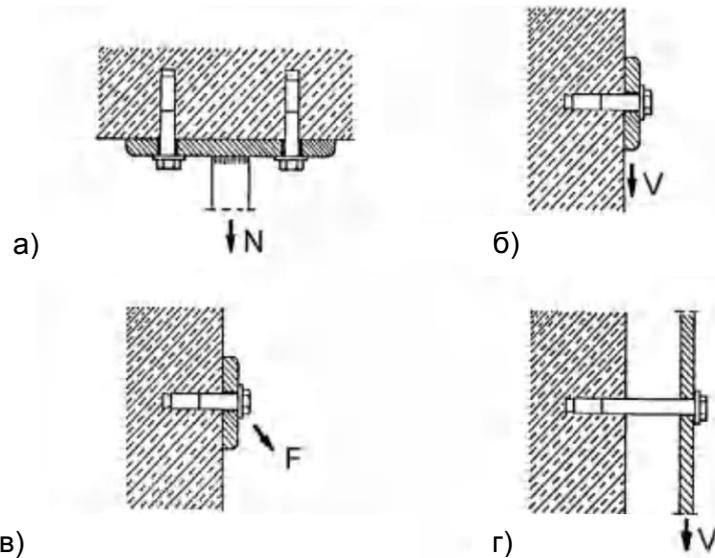


Рисунок 4 – Схемы приложения нагрузок на анкерное крепление: а – нагрузка на вырыв; б – поперечная нагрузка; в – комбинация вырывающей и поперечной нагрузки; г – поперечная нагрузка с плечом (мом)

По результатам проведенных натурных испытаний и моделирования работы химического анкера в тяжелом бетоне [104] получены зависимости на рисунке 5. Моделирование проведено в программном комплексе ATENA 2D/3D.

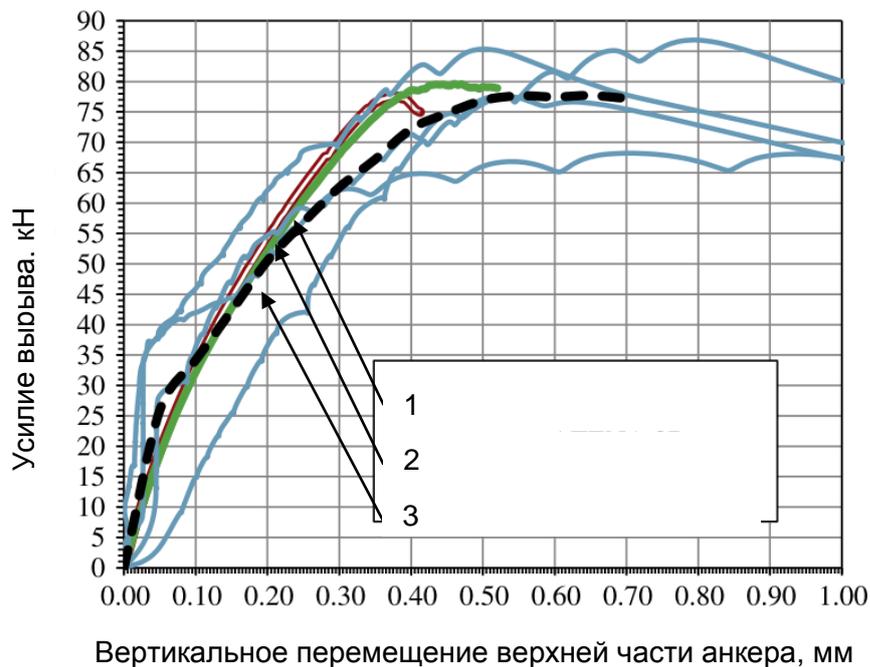


Рисунок 5 – График нагрузка-деформации при моделировании работы химического анкера в бетоне и сравнение с опытными данными. 1 – моделирование в программном комплексе ATENA 3D, 2 – моделирование в программном комплексе ATENA 3D, 3 – экспериментальные данные

Выводами работы [103] является факт того, что наибольшее влияние на значение несущей способности анкерного крепления является его устройство у края бетонной конструкции.

В работах отечественных ученых показано, что на итоговое значение несущей способности оказывает влияние вертикальность устройства лидерного отверстия см. рисунке 6 [41–43].

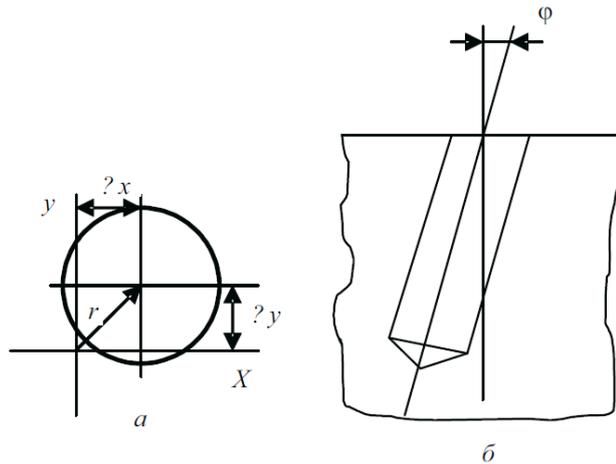


Рисунок 6 – Отклонение действительного положения осей отверстия от проектного: а – отклонение в план; б – отклонение по вертикали

Ввиду того, что отклонение от вертикали имеет случайный характер (см. рисунок б), при оценке точности выполнения отверстия [94] было установлено, что отклонение центра отверстия определяется зависимостью:

$$f(r) = \frac{r}{\sigma_r^2} * e^{-\frac{r^2}{2\sigma_r^2}}, \quad (1)$$

где r – случайная величина радиального отклонения; σ_r – радиальное среднеквадратическое отклонение случайной величины r .

В свою очередь отклонение оси отверстия от вертикального положения определяется зависимостью:

$$f(\varphi) = \frac{\varphi}{\sigma_\varphi^2} * e^{-\frac{\varphi^2}{2\sigma_\varphi^2}}, \quad (2)$$

где φ – случайная величина углового отклонения оси отверстия от вертикали (рад); σ_φ – угловое среднеквадратическое отклонение случайной величины φ .

В настоящем подразделе проведен анализ механики разрешения анкерных креплений, а также выявлены факторы, оказывающие влияние на итоговое значение несущей способности.

1.3 Подходы к расчету несущей способности анкерных креплений при устройстве в поризованные основания

Математическое моделирование работы канальных и бесканальных анкеров в легких ячеистых бетонах активно ведется в последнее время [2, 16, 26, 34, 38, 113]. При рассмотрении характера работы анкера в легком ячеистом бетоне применяются различные подходы и рассматриваются различные объемы и факторы, влияющие в итоге на несущую способность. Наиболее часто встречающийся характер нагрузки на анкер приведен в [117] и является усилием на вырыв.

В работе [16] проводятся обоснованные параллели работы контакта канального профилированного анкера с газобетонным блоком с работой жесткого штампа (см. рис 7).

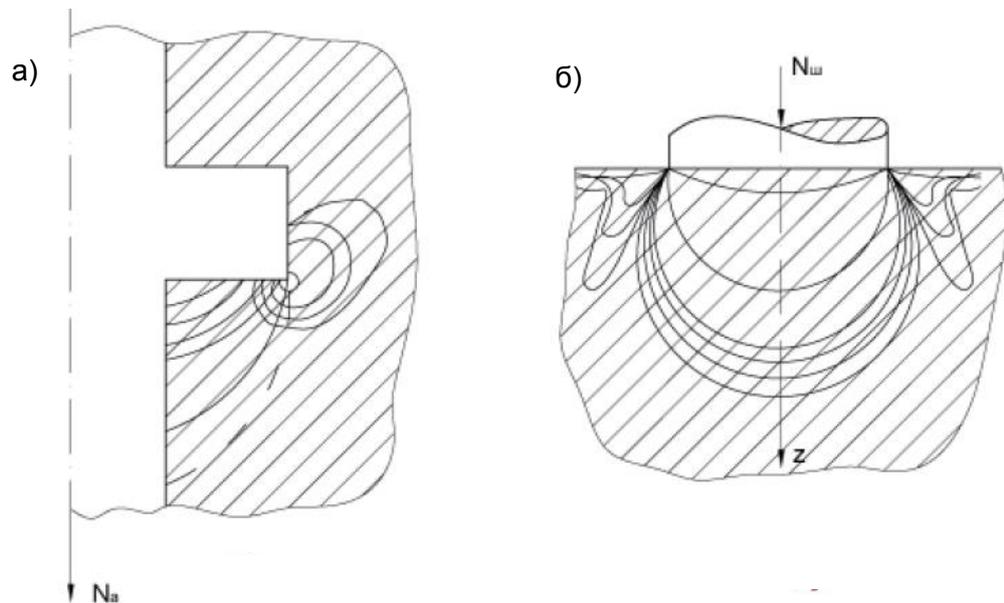


Рисунок 7 – Изолинии главный нормальных напряжений при возникновении: а – в бетоне под выступом профиля анкера; б – в хрупком материале под жестким плоским цилиндрическим штампом

Определяющим показателем разрушения анкера является разрушение по двум критериям: смятие газобетона под выступом дюбеля и срез площадки между выступающими частями (см. рисунок 8).

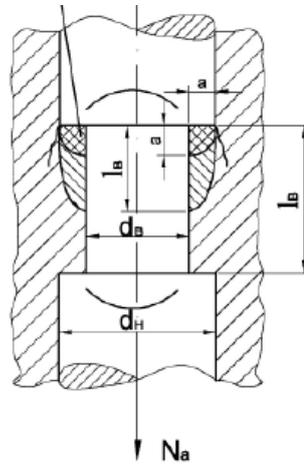


Рисунок 8 – Зоны пластически деформируемого газобетона под выступами дюбеля при приложении нагрузки на вырыв

Общая формула несущей способности анкерного крепления имеет вид:

$$N_a = 0,26\pi * d_n * l_{в\text{ ср}} * R * n, \quad (3)$$

где d_n – наружный диаметр тела дюбеля, $l_{в\text{ ср}}$ – длина площадки среза, R – кубиковая прочность газобетона, n – число шагов спирали;

Стоит отметить, что данный расчетный метод имеет хорошую корреляцию с результатами стендовых испытаний, в том числе проведенных автором. Данный расчетный подход может служить базой для оптимизации конструкции канального анкера.

В исследовании [26] расчет анкеров на вырыв предлагается рассматривать посредством зависимостей [87], предложенных для расчета сцепления арматуры с бетоном.

$$l_{0,an} = \frac{R_s A_s}{R_{bond} u_s}, \quad (4)$$

Где A_s и u_s – соответственно площадь поперечного сечения анкеруемого стержня арматуры и периметр его сечения, определяемые по номинальному диаметру стержня.

R_{bond} – расчетное сопротивление сцепления арматуры с бетоном, принимаемое равномерно распределённым по длине анкеровки и определяемое по формуле:

$$R_{bond} = \eta_1 \eta_2 R_{bt}, \quad (5)$$

где R_{bt} – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению; η_1 – коэффициент, учитывающий влияние вида поверхности арматуры; η_2 – коэффициент, учитывающий влияние размера диаметра арматуры.

Следовательно, расчетная нагрузка на анкер принимается:

$$N_p = l_{0,an} R_{bond} U_s \quad (6)$$

При рассмотрении европейских норм [111] расчет несущей способности анкерного крепления в *LWAC* (*light weight aerated concrete* – легкий ячеистый бетон автоклавного твердения, пер. с англ.) предлагается использование формулы расчета несущей способности в тяжелых бетонах с использованием определенных значений коэффициентов эмпирических закономерностей.

Иногда при проектировании необходимо учесть поперечную составляющую нагрузки. Автору неизвестны рекомендации по расчету анкеров на срезающую нагрузку в поризованных ячеистых бетонах в отечественной литературе. Рекомендации по расчету полимерных анкеров на срез приведены в европейских кодах [108, 109]. Расчетная несущая способность анкера на срезающую нагрузку определяется по формуле:

$$V_{Rk,c} = 0,45 * \sqrt{d_{nom}} * \sqrt[0,2]{\frac{h_{nom}}{d_{nom}}} * \sqrt{f_{ck,cube}} * c_1^{1,5} * \sqrt{\frac{c_2}{1,5 * c_1}} * \sqrt{\frac{h}{1,5 * c_1}}, \quad (7)$$

где d_{nom} – внешний диаметр тела канального анкера;

h_{nom} – глубина анкеровки;

$f_{ck,cube}$ – прочность бетонного блока на сжатие;

c_1, c_2 – краевые расстояния, причем $c_1 < c_2$;

h – толщина блока.

В целом, следует отметить, что аналитические и эмпирические зависимости имеют потенциал к развитию и учету разнообразных факторов фактической работы анкерных креплений в базовых поризованных материалах.

Проанализированные подходы или методики расчета анкерных креплений имеют потенциал развития при дополнительном научном и экспериментальном обосновании. Рассмотренные зависимости могут выступать основой при развитии расчетных моделей взаимодействия анкеров и материалов.

1.4 Пути повышения надежности и несущей способности анкерных креплений

Обзор проблем, приведенный выше, показывает актуальность отработки решений устройства анкерных креплений в поризованные материалы несущих и ограждающих строительных конструкций. Направления проработки включают полный перечень инженерных задачи – расчетных [16, 17], технологических [10, 12, 64] и методических [24, 25].

Пути повышения надежности и несущей способности анкерных креплений в технологической части изложены в работе [10], дополнены автором на основе произведённого обзора и включают в себя следующие направления:

- разработка новых технических решений анкерных креплений, которые включают значительный массив базового материала в работу;
- разработка новых конструктивно-технологических решений анкерных креплений;
- применение материалов с близкими деформационно-усадочными свойствами в узлах крепления строительных конструкций, путем создания камуфлетной заделки;
- включение в работу окружающего массива базового материала по всей длине анкерной дюбели;
- разработка эффективных энерго- и материалоемких технологий монтажа анкерных креплений;

- разработка новых технических решений дюбелей, имеющих стабильные прочностные свойства на протяжении всего периода эксплуатации (отсутствие перераспределения напряжений и деформаций пористого материала [31]);
- возможность установки универсального дюбеля в широкий спектр строительных материалов;
- отработка методики наблюдения за работой анкера в течение эксплуатации;
- отработка методики испытания анкерных креплений в лабораторных и построчных условиях;
- разработка новых анкерных креплений в увязке с проектированием несущих конструкций, в т. ч. по исключению ряда нагрузок и воздействий в случае необходимости;
- разработка математических моделей и моделей разрушения анкера по различному виду нагрузок – статических, квазистатических, динамических, взрывных, сейсмических, вибрационных и пр.;
- отработка расчетных моделей анкерных креплений;
- отработка методик анализа эффективности технических решений при устройстве анкеров в различные конструкции;
- отработка расчетных комплексов для автоматизированного проектирования.

Работа над анкерными креплениями включает в себя многогранность инженерных задач и ставит задачи для фундаментальных исследований в области механики пористых сред с различной структурой и прочностными свойствами.

Выводы по первой главе:

1. Рассмотрены известные способы установки анкерных креплений в пористых материалах несущих и ограждающих конструкций, выявлены их недостатки и достоинства.

2. Рассмотрена механика разрушения анкерных креплений, установленных по различным технологиям. Приведены характерные диаграммы зависимостей нагрузка-деформация.

3. Проанализированы существующие подходы к расчету анкерных креплений и перечень факторов, влияющих на несущую способность анкерного крепления.

4. Намечены пути повышения надежности и несущей способности анкерных креплений.

5. Основываясь на современном этапе развития науки и техники, установлено, что существует необходимость разработки новой усовершенствованной технологии устройства анкеров в газобетонные материалы несущих и ограждающих конструкций, позволяющие исключить недостатки, существующих анкерных креплений.

ГЛАВА 2. НОВАЯ УЛУЧШЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА АНКЕРНЫХ КРЕПЛЕНИЙ – РАЗРАБОТКА И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Достоинства и недостатки существующих технологий устройства анкерных креплений явились предпосылками для разработки новой улучшенной технологии. В качестве дополнительного критерия при разработке технологии выступило требование возможности широкого промышленного внедрения технологии, что накладывает ограничения на номенклатуру используемого оборудования и расходных материалов. При разработке новой технологии в качестве рабочей гипотезы выдвинуто предположение, что при избыточном давлении в течение оптимального времени клеевая композиция объемно проникает в поры газобетона на глубину, обеспечивающую вовлечение значительного объема базового материала в работу.

Целью настоящей главы является исследование физико-механических свойств строительных поризованных материалов и клеевых композиций и разработка физической и математической моделей проникновения клеевой композиции в пористую структуру базового материала.

Методологической основой исследования являются: анализ литературных и патентных источников, обобщение производственного опыта, математическое планирование экспериментальных исследований, проведение натурных экспериментов, статистическая обработка полученных результатов. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях по стандартным и специальным методикам. По стандартным методикам исследовались: прочность газобетонных блоков, влажность пористого основания. По специальным методикам исследована зависимость нагрузка-деформация анкерного крепления на его вырыв из газобетонного блока.

2.1 Теоретические предпосылки для разработки нового метода устройства анкерных креплений на пористые основания

Улучшение оснований путем их пропитки нашло широкое применение в металлообработке, деревообработке и ремонте бетонных поверхностей [7, 76, 82].

Пропитка и нагнетание строительных растворов и полимерных композиций в базовые материалы позволяют повысить прочностные и деформационные характеристики самих материалов и эффективно передать, распределить приложенные нагрузки [49, 60, 61, 78]. В настоящее время разработаны клеевые композиции различных технических характеристик и способов отверждения, что позволяет применять их в самом широком спектре строительных задач [82].

Возможность проникновения и нагнетания строительных растворов обеспечена поровой структурой газобетона. Моделирование поровой структуры активно исследуется применительно к вопросам подземной гидродинамики нефте- и газодобычи в условиях сложных геологических сред с различными входными параметрами (температурные поля, градиенты давления, сжимаемость движущейся жидкости и многие др. [4, 56, 59]). Основные модели пористых материалов рассмотрены и систематизированы в работе [73]. Формализация структуры пористых материалов, как правило, рассматривается через различные способы упаковки шаров, зазоры между которыми рассматриваются в качестве стенок пористого материала [33].

Типы пор, образующие структуру материала газобетона, также приведены в работе [73]. Ячеистые поризованные бетоны, в силу требований к теплотехническим свойствам и технологическим особенностям производства материала имеют различные типы пор – гелевые, капиллярные и макропоры. В целом, исчерпывающий перечень типов пор гармонично вписывается в приведённую классификацию на рисунке 9 по геометрическим признакам.

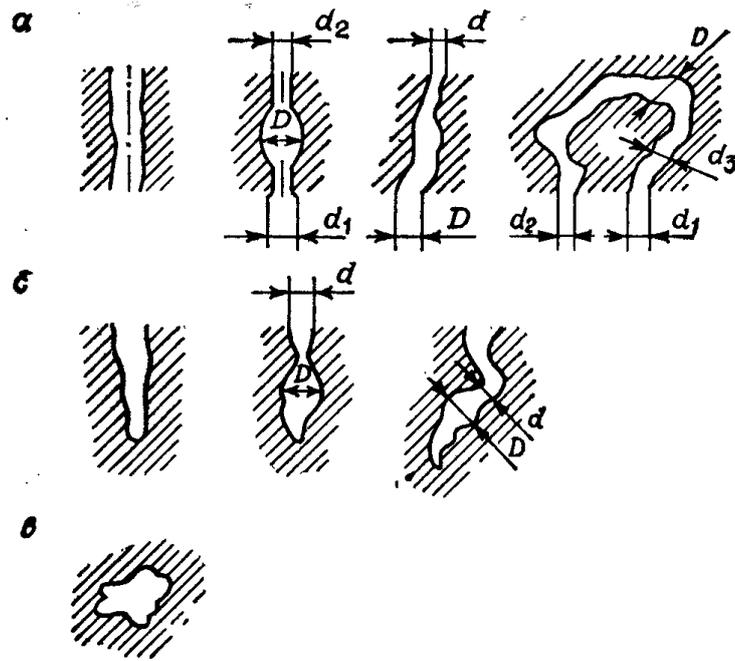


Рисунок 9 – Типы пор: а – открытые; б – открытые тупиковые; в - закрытые

Газобетон является теплоизоляционным и конструкционным материалом, причем отношение значения теплопроводности материала к его плотности постоянно растет. Ввиду созависимости данных показателей всё чаще используются материалы с пониженной плотностью [77].

Ввиду ряда полезных строительных свойств газобетона – стабильность свойств во времени, изотропность прочностных и деформационных свойств [97] – газобетон с 2013 г. занимает лидирующее положение в перечне стеновых материалов на строительном рынке РФ [13]. К положительным свойствам газобетона возможно отнести пожаробезопасность. К недостаткам газобетона относится изменение прочностных свойств при изменении влажности и наличие высокой чувствительности к толщине кладочного шва [8, 9].

Ввиду наличия широкой номенклатуры газобетонных изделий различной плотности необходимо рассмотреть их поровую структуру. В части исследования структурного состояния пористых оснований основными характеристиками газобетона по [50] приняты плотность, средняя плотность и пористость. Под пористостью понимается дифференциальное распределение пор по радиусам в газобетоне. В работе [20] обобщенно представлено распределение пор (см. таблицу 3) в газобетоне вне зависимости от способа их получения.

Таблица 3 – Характеристика пористости ячеистого бетона

Плотность ячеистого бетона, кг/м ³	Общий объем пор П _{общ} , %	Объем твердой фазы, V _т , %	Ячеистые поры, П _я		Капиллярные поры, П _{кап}		Гелевые поры, П _г	
			размер, м	объем, %	размер, м	объем, %	раз- мер, м	объем, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
200	92	8	10 ⁻⁶ - 0,25·10 ⁻²	83	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁶	7,5	<10 ⁻⁸	1,5
300	88	12	10 ⁻⁶ - 0,2·10 ⁻²	76	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁶	9	<10 ⁻⁸	3
400	84	16	10 ⁻⁶ - 0,15·10 ⁻²	70	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁶	10,5	<10 ⁻⁸	3,5

В работах [30, 83] приведен ряд уточнений, полученных методами световой микроскопии и ртутной порометрии, по распределению пор в газобетоне. Пики на графиках дифференциального распределения пор (см. рисунок 10) подтверждаются микрофотографиями структуры газобетона (см. рисунок 11), представленными в работе [30], на которых показаны макропоры и микропоры. Микропоры отчетливо видны в твердой фазе газобетона.

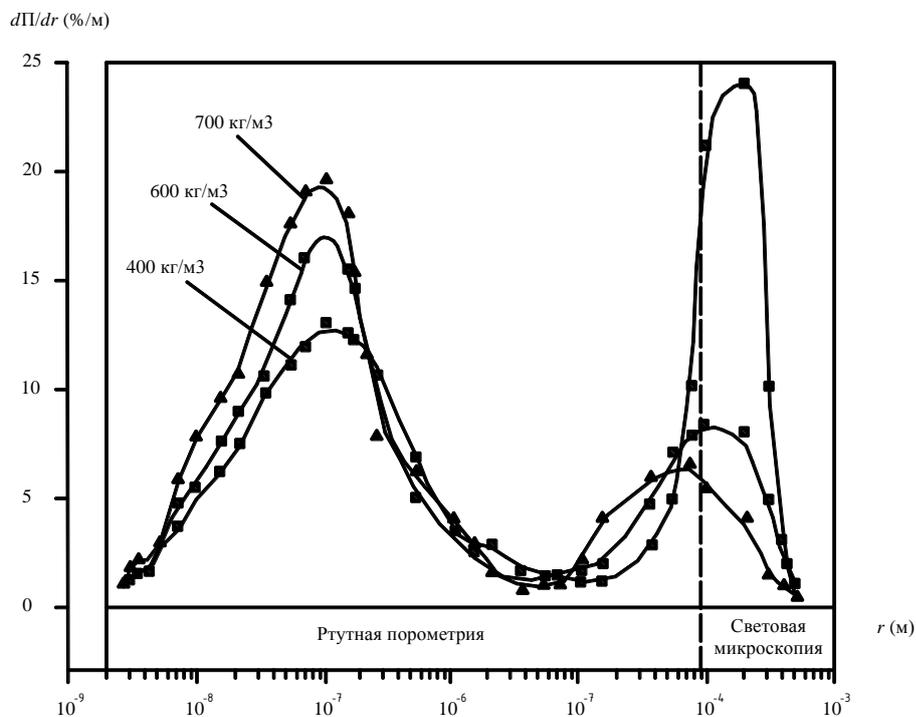


Рисунок 10 – Дифференциальное распределение пор по радиусам для газобетонов различных плотностей

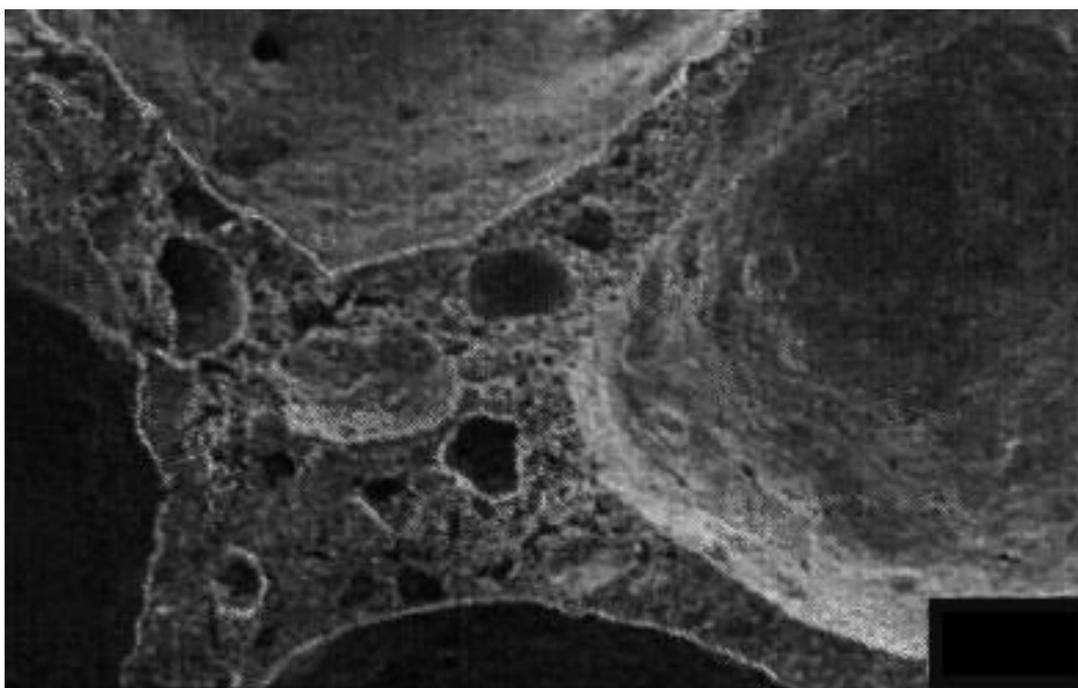


Рисунок 11 – Микрофотография структуры газобетона при 200-х увеличении

В работе С.Г. Ершовой [30] приведена также характеристика пористости газобетона, отражающая отношение распределения закрытых и сообщающихся макропор (см. таблицу 4).

Таблица 4 – Параметры поровой структуры пористых газобетонных блоков

Материал	Средняя плотность, кг/м ³	Объем пор, %			Распределение пор в диапазоне радиусов, %		
		общий	сообщ.	замкн.	0,1-1 мкм	1-10 мкм	10-50 мкм
1	2	3	4	5	6	7	8
Газобетон	400	81	34	33	39,94	10,48	13,60
	600	71	32	39	42,63	5,19	13,58
	700	67	23	58	37,23	8,49	16,30

Наличие соединенных пор в газобетоне хорошо иллюстрирует микрофотография (см. рисунок 11, 12), приведенная в работе [114]. В дополнение к факту о наличии соединенных пор в газобетоне возможно отнести факт воздухопроницаемости газобетона, который изучал А. А. Лаукайтис. Основные выводы о зависимости воздухопроницаемости от плотности газобетонного блока и

водоцементного соотношения при его затворении приведены в работе [47] (см. рисунок 13).

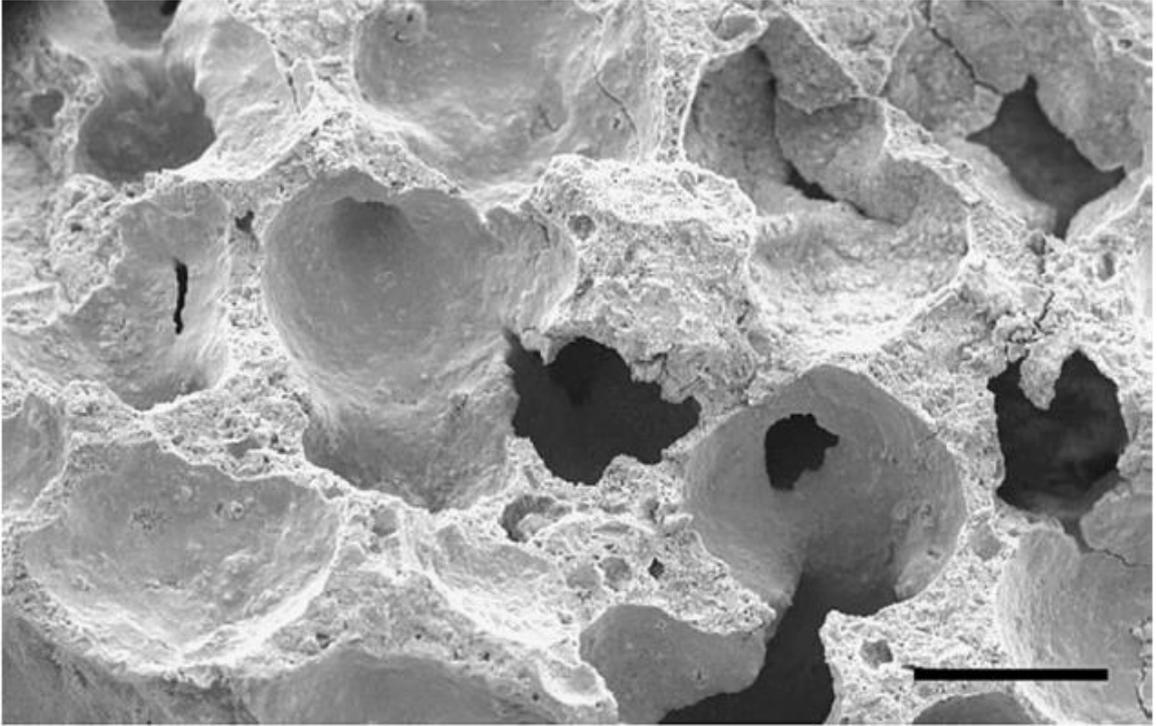


Рисунок 12 – Микрофотография, подтверждающая наличие и структуру соединенных пор газобетона. Базовый размер принят 500 мкм

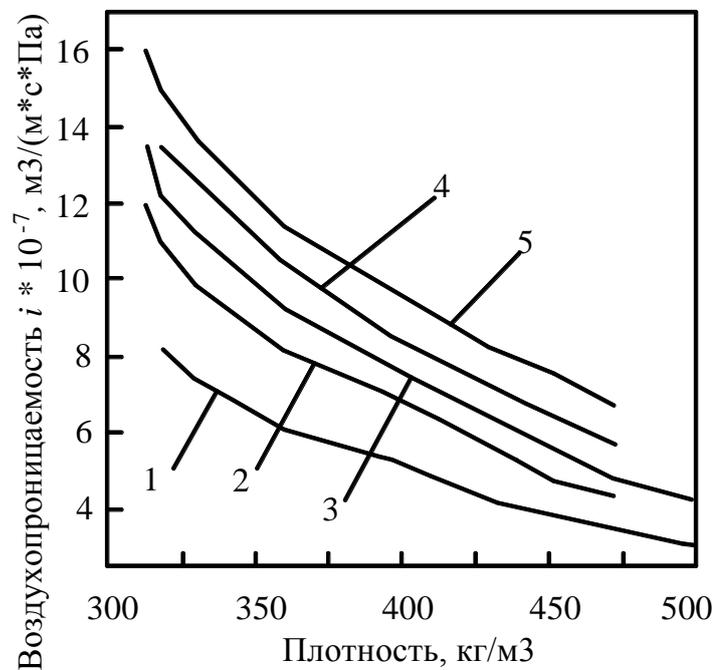


Рисунок 13 – Зависимость коэффициента воздухопроницаемости газобетона от его плотности при водоцементном отношении (В/Ц): 1 - 0,5; 2- 0,55; 3 - 0,6; 4 - 0,65; 5 - 0,7

В работе [119] Г. Шлобер приводит схему с усредненными показателями структурных характеристик газобетона: макро-, микро- и твердой фазы в процентном соотношении (рисунке 14).

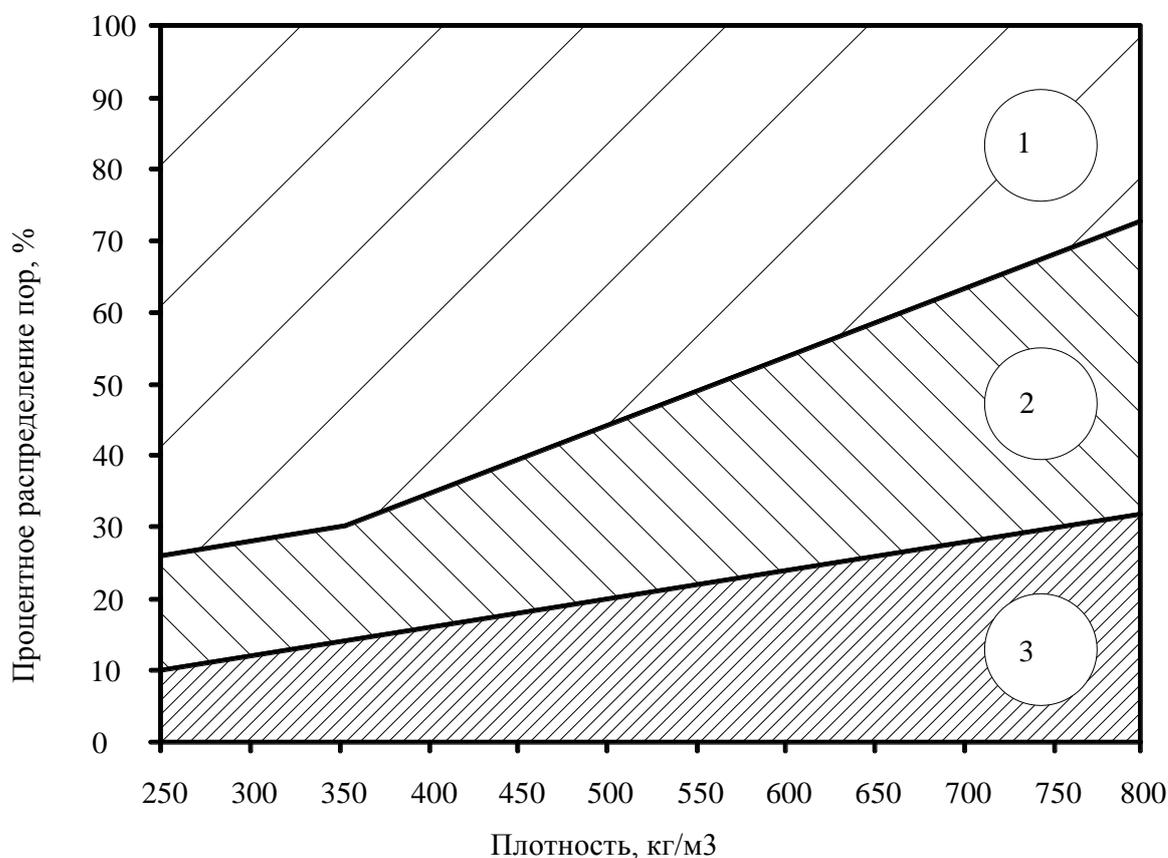


Рисунок 14 – Распределение твердой фазы, макропор и микропор в процентном соотношении в зависимости от плотности газобетона, где зона 1 – макропоры; 2 – микропоры (в т. ч. капиллярные и гелевые); 3 – твёрдая фаза (скелет)

В результате анализа вышеизложенных обстоятельств, имеется основание заключить, что нижеследующие факторы оказывают влияние на технологические параметры устройства пропитки базовых пористых оснований и нагнетания в них клеевых композиций:

- средняя пористость базового материала;
- дифференциальное распределение пор по размерам;
- распределение пор по объему (телу) пористого основания;
- проницаемость базового пористого основания, или эффективное пористое пространство;

- плотность базового материала;
- прочность газобетонного камня;
- процентное соотношение открытых и закрытых пор;
- вытеснение жидкости (влаги) связующим веществом в базовом материале;
- вытеснение газа связующим веществом в базовом материале.

Требования к клеевым композициям, предполагаемым к нагнетанию в газобетон.

Улучшение физико-механических характеристик базовых материалов путем омоноличивания узлов строительных конструкций, сшивки различных элементов строительных конструкций клеевыми составами, повышение коррозионной стойкости, водо- и влаго-непроницаемости путем нанесения специальных растворов (в т. ч. бетонных и гипсовых) на поверхность строительных конструкций имеют практическое применение в строительной практике [46].

В работе [53] рассмотрены возможные виды смол и композиции на их основе при склеивании бетонных элементов. Распространение получили клеевые композиции на основе эпоксидных, полиуретановых, полиэфирных смол, акриловые, поливинилацетатные, фуриловые, феноло-формальдегидные, карбамидные клеи.

Свойства смол и полимеров, способы и технологии их отверждения изучаются весьма продолжительное время. Выявлено, что при контакте с железобетонными элементами наиболее пригодными являются клеи на основе эпоксидных смол [1-11]. Кроме того, определён перечень отрицательных свойств других клеевых композиций, которые значительно сужают их область применения при контакте с бетонными изделиями, например, для полиэфирных клеев – это значительные внутренние напряжения [14], их низкая водо-, морозостойкость и стойкость в агрессивных средах [1, 3, 15, 19]; для фено-формальдегидных и фурановых полимеров – это кислая среда их отверждения и требование наличия повышенных температур при их отверждении [1, 3]; для полиуретановых композиций – их высокая токсичность и малая атмосферо- и влагостойкость [6, 8].

Необходимо отметить полезные свойства эпоксидных смол для строительного производства [6, 7, 37–48]:

- высокие физико-механические свойства при восприятии нагрузок на растяжение, сжатие, изгиб, срез;
- эффективное восприятие и статических и динамических нагрузок;
- малая усадка при отверждении;
- высокая атмосферостойкость;
- высокое разнообразие добавок и присадок, регулирующих процессы отверждения и физико-механические свойства смолы;
- глубокий уровень изученности свойств эпоксидных смол;
- химическая нейтральность к щелочной и кислой средам;
- низкая чувствительность к изменению температуры и давлению внешней окружающей среды [27];

Широкое распространение в строительной отрасли получили поливинилацетатные клеи (далее ПВА) по [23]. Данный клей представляет собой вязкую жидкость белого или слегка желтоватого цвета с размером частиц $1-3 * 10^{-6}$ м, без комков и посторонних механических включений. Принимая во внимание, что размеры микропор газобетона составляют $0,1-1 * 10^{-6}$ (см. таблицу. 3), дисперсная составляющая ПВА будет блокировать его движение в порах.

Кроме того, в отечественной литературе рассматриваются различные воздействия на клеевые и строительные растворы, такие как вибрационные, акустические, тепловые, электромагнитные, магнитные и пр., с целью изменения свойств растворов [44, 46]. Исследование данного вопроса выходит за рамки поставленных задач в данной работе.

С точки зрения свойств клеевых композиций на итоговое значение несущей способности влияют:

- динамическая вязкость;
- плотность связующей клеевой композиции;

- смачиваемость клеевой композицией поверхности поризованного материала;
- сжимаемость клеевой композиции;
- время желатинизации строительного раствора (время схватывания);
- температура отверждения;
- рабочая температура;
- дисперсность строительного раствора;
- время перемешивания клеевой композиции;
- метод отверждения клеевой композиции;
- реологические свойства клеевой композиции;
- кислотность среды клеевой композиции;
- механическая прочность на растяжение, изгиб;
- время полного отверждения;
- растворимость клеевой композиции во влаге поризованного материала;
- токсичность.

В ходе проведенного анализа по разделу 2.1. выявлено 10 и 16 факторов, влияющих на технологические параметры и итоговую несущую способность анкерного крепления по свойствам материала и свойствам клеевой композиции соответственно.

2.2 Новая улучшенная технология устройства анкерных креплений в газобетонных изделиях методом нагнетания

При разработке новой улучшенной технологии в качестве рабочей гипотезы, как было показано ранее, выдвинуто предположение, что при избыточном давлении в течение оптимального времени клеевая композиция объемно проникает в поры газобетона на глубину, обеспечивающую вовлечение значительного объема базового материала в работу.

Новый улучшенный метод устройства анкерных креплений в базовые пористые материалы (рисунке 15) осуществляется следующим способом. После

выполнения разметки основания, устраивают лидерные отверстия в 1-2 мм меньше, чем наружный диаметр тела дюбеля, особое внимание уделяется устройству лидерного отверстия, его глубине и вертикальности [57]. В конструкцию дюбеля входит полый полимерный цилиндр с прорезями и внешняя спиральная навивка. Спиральная навивка условно имеет спираль двух типов: нормального и уменьшенного сечения. Первый шаг спирали нормального сечения позволяет прорезать в пористом основании полости, которые в последующем используют для прохождения клеевой композиции. Последний шаг спирали нормального сечения позволяет загерметизировать полость нагнетания и предотвратить выход жидкости на лицевую поверхность кладки. Подача клеевой композиции под избыточным давлением осуществляется за счет избыточного давления воздуха, создаваемого компрессором. Загрузка промежуточной ёмкости осуществляется через патрубки с шаровыми кранами.

Подача связующего раствора осуществляется согласно рациональным технологическим параметрам, определённым расчетным и опытным путем, которые приведены в приложении Е «Технологический регламент по устройству анкерных креплений в газобетонных несущих и ограждающих конструкциях методом нагнетания».

Специальная конструкция дюбеля (см. рисунок 16) обеспечивает полное проникновение клеевой композиции в базовый поризованный материал. Полости, дополнительно образованные в дюбеле Sormat kbt 6, позволяют обеспечить завинчивание дюбеля по заданной траектории. Первый шаг спирали выполняет функции направляющей спирали при завинчивании и создает полость для свободного проникновения клеевой композиции в базовый материал. Последний шаг спирали выполняет уплотняющую функцию. Дополнительно, на голову дюбеля и последний шаг выступающей спирали наматывают ленту ФУМ в целях обеспечения герметичного сопряжения дюбель-газобетон, что в дальнейшем будет полезно и необходимо для поддрожания избыточного давления в течение требуемого времени.

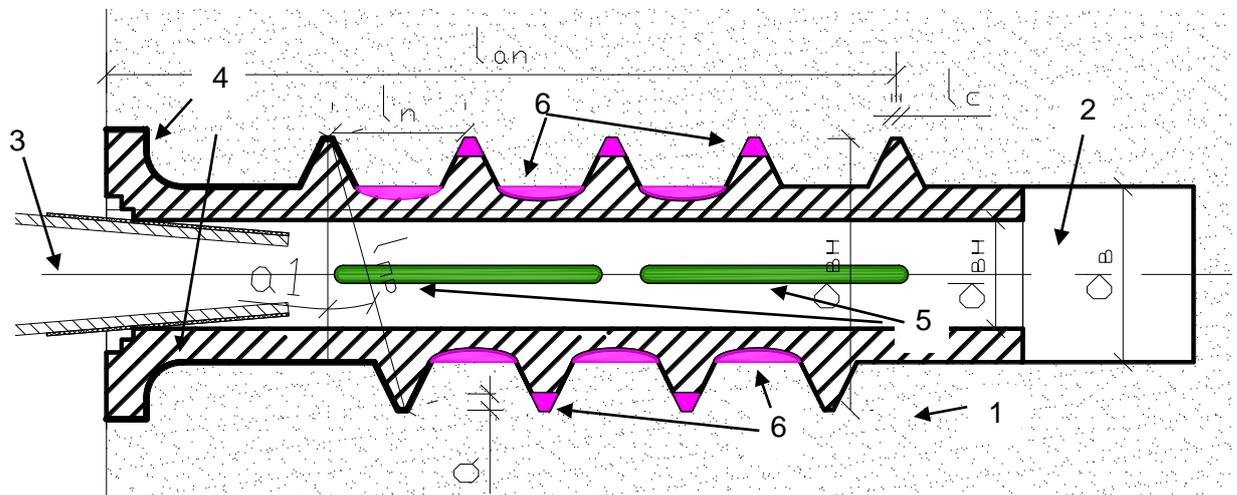
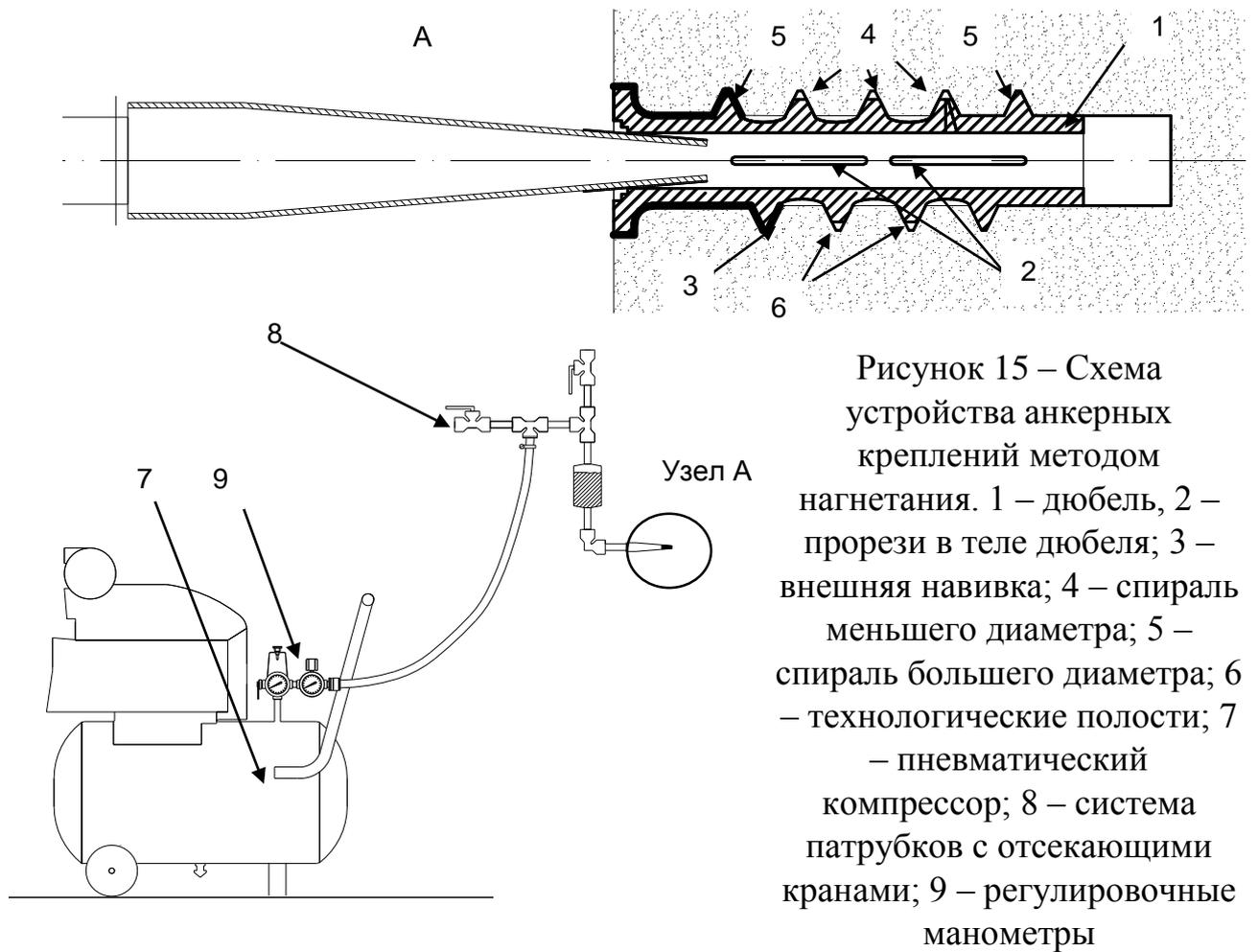


Рисунок 16 – Конструктивная схема модернизированного дюбеля *Sormat kbt 6*. 1 – базовый поризованный материал (газобетон); 2 – полость в пяте, обусловленная технологией установки дюбеля; 3 – сопло нагнетательной установки; 4 – герметизирующий уплотнитель (лента ФУМ); 5 – прорези, выполненные в промышленном масштабе (показаны зеленым); 6) полости, образовавшиеся при установке дюбеля модернизированного автором (показаны фиолетовым)

В ходе дальнейших стендовых экспериментальных исследований будут изучены факторы, оказывающие влияние на технологические процессы, оказывающие на технологические режимы нагнетания клеевой композиции в базовое пористое основание.

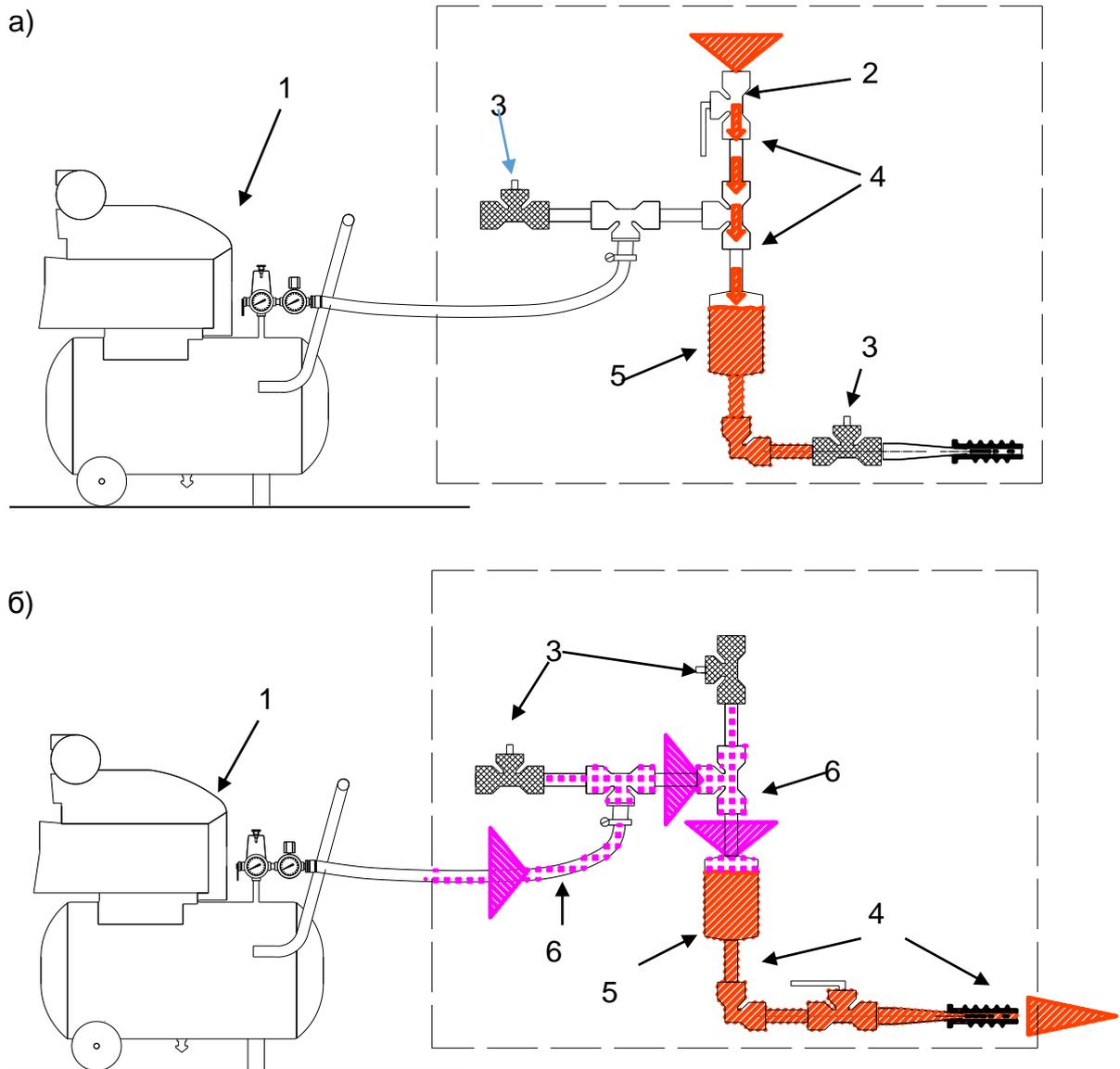


Рисунок 17 – Схема движения клеевой композиции в установке: а) этап I; б) этап II. 1 – компрессорная установка; 2 – открытая задвижка; 3 – закрытая задвижка; 4 – направление движения клеевой композиции при загрузке; 5 – промежуточная емкость для размещения большего объема композиции; 6 – избыточное пневматическое давление

Подача клеевой композиции может быть организована посредством создания избыточного давления компрессором. Этапы движения клеевой композиции приведены на рис 17. Первоначально в специально отведенный патрубок загружают клеевую композицию до требуемого объема или до наполнения промежуточной емкости. Затем перекрывают и открывают необходимые задвижки и включают компрессор. После создания необходимого давления в ресивере компрессора, открывают задвижку, расположенную у сопла установки, тем самым обеспечивая подачу клеевой композиции в газобетонное основание через дюбель.

Технология устройства анкерного крепления на базовые пористые материалы методом нагнетания включает в себя следующие технологические процессы:

- разметка основания;
- устройство лидерного отверстия;
- продувка и прочистка отверстия;
- установка дюбеля;
- установка сопла нагнетательной установки в проходное отверстие дюбеля;
- подача клеевой композиции под избыточным давлением различных значений и в течении различного времени;
- установка шпильки и(или) самореза.
- выдерживание устроенного крепления в течении 24 ч без нагрузки до набора проектной прочности клеевой композиции.

С технологической точки зрения, на конечную несущую способность влияют:

- разность давлений;
- время подачи клеевой композиции;
- качество временного соединения подающего сопла и дюбеля в вопросе герметичности их сопряжения;
- пыль, образованная при устройстве отверстия;

- температура наружного воздуха при нагнетании клеевой композиции;
- конструкция дюбеля;
- глубина и вертикальное отклонение при устройстве лидерного отверстия;
- глубина и диаметр модернизированного дюбеля;

В ходе проведенного анализа по разделу 2.2. выявлено 8 факторов, влияющих на итоговую несущую способность анкерного крепления.

2.3 Теоретическое обоснование параметров процессов перемещения жидкостей в пористых основаниях

Процессы улучшения свойств пористых базовых оснований путем заполнения их пор различными растворами (пропитка, усушка) рассматриваются, как правило, через призму движения жидкостей различных характеристик через пористые среды [46].

Согласно предпосылкам, изложенным в разделе 2.1., при устройстве дюбеля в газобетонный блок выступающая навивка в виде спирали разрушает лежащий на пути закручивания в базовый пористый материал – газобетон. Таким образом, имеется большое количество открытых макропор в зоне контакта спираль-основание.

Полезно отметить тот факт, что количество соединённых (открытых) пор достигает 40% в газобетоне [33]. Из этого следует, что имеется высокая вероятность, что первая макропора, нарушенная выступами канального анкера, будет соединена со второй макропорой. Следовательно, глубина капилляра с диаметром 0,1 – 1 мм вероятно будет до 2 мм (см. рисунок 14).

Рассматривая далее движение жидкости по газобетонному блоку, жидкость будет двигаться в конец условно закрытой поры, другими словами, диаметр микропор, соединяющих макропоры, будет колебаться в районе $1 \cdot 10^{-7}$ – $10 \cdot 10^{-7}$ м. (см. рис 10).

Принимая во внимание выше изложенные обстоятельства, автором выдвигается предположение о миграции клеевой массы при нагнетании в 3 основных этапа. Первый этап связан с ламинарным режимом движения жидкости и включает в себя: продвижение по технологическим каналам оборудования; продвижение по соплу оборудования; продвижение в полостях дюбеля; продвижение в зазоре между телом, выступами и пористым основанием; продвижение в соединенных макропорах. Второй этап связан с движением клеевой композиции в микропорах пористого основания. Проникновение клеевой композиции во «второй эшелон» макропор зависит от толщины стенки газобетона и связано с ламинарным движением клеевой композиции (см. рисунок 18).

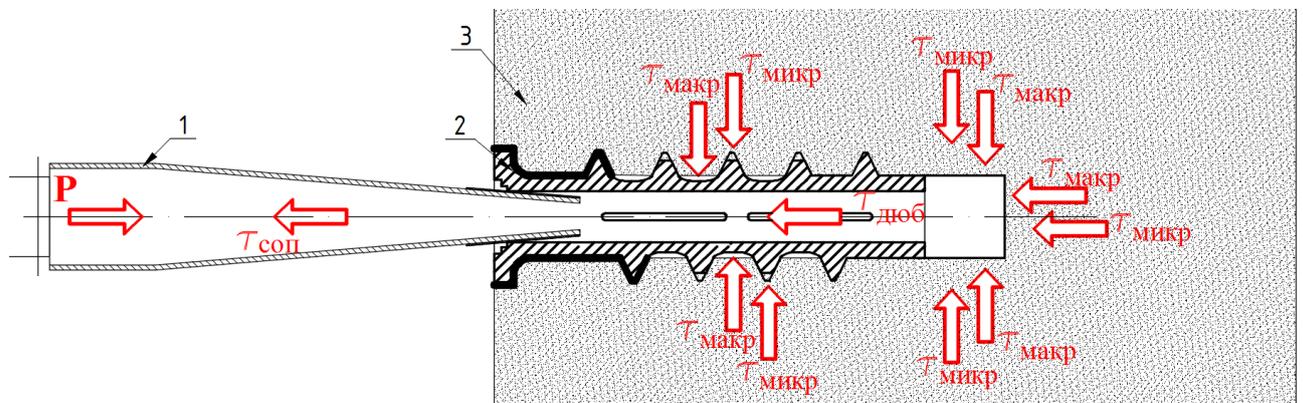


Рисунок 18 – Физическая модель движения клеевой композиции при устройстве анкеров методом нагнетания. Поперечный разрез, фрагмент. 1 – сопло нагнетательного устройства; 2 – установленный дюбель (полое удерживающее устройство); 3 – газобетонный блок

В соответствии с предложенной моделью (см. рисунок 18) для осуществления подачи клеевой композиции необходимо, чтобы давление P , создаваемое компрессорной установкой, было больше, чем давление P_1 , равное сумме сил, противодействующих распространению бетонной смеси в полости, т.е.:

$$P > P_1, \quad (8)$$

где $P_1 = \tau_{\text{соп}} + \tau_{\text{дюб}} + \tau_{\text{макр}} + \tau_{\text{микр}} + \tau_{\text{внутр}} - p_{\text{капил.}} + p_{\text{вытесн.}}$

где $\tau_{\text{соп}}$ – “противодавление” от силы трения клеевой композиции о внутреннюю стенку сопла; $\tau_{\text{дюб}}$ – “противодавление” от силы трения, возникающая при движении клеевой композиции через внутреннюю полость дюбеля, выходе из

прорезей в теле дубеля и заполнении полостей между дубелем и газобетоном; $\tau_{\text{макр}}$ – “противодавление” от силы трения клеевой композиции при преодолении макропор; $\tau_{\text{микр}}$ – “противодавление” от силы трения клеевой композиции при преодолении микропор; $\tau_{\text{внутр}}$ – “противодавление” от силы внутреннего трения клеевой композиции; $p_{\text{капил.}}$ – давление от силы капиллярного подсоса; $p_{\text{вытесн.}}$ – “противодавление” от силы, необходимой для вытеснения сорбционной влаги из пор газобетона.

В приведенной физической модели, жидкость имеет вязкоупругие свойства. Также данными свойствами располагают рассматриваемые смолы и клеевые композиции (эпоксидная смола ЭД-22, отвердитель ХТ-1186, полиуретановая композиция).

Движение вязких жидкостей через пористые среды рассмотрено в трудах [37, 75, 99, 101, 102]. Данные труды, в основном охватывают область подземной гидродинамики, однако при детальном рассмотрении пористая структура газобетона близка к рассмотренным моделям.

Принимая во внимание предложенную модель путей распространения клеевой композиции в теле газобетона, движение клеевой композиции будет иметь ламинарный характер, переход к турбулентному режиму будет наблюдаться при критическом числе Рейнольдса [102]. Запишем данное выражение в общем виде в векторной форме:

$$-\text{grad } p = F(|q|)\vec{q}, \quad (9)$$

$$F(|q|) = \begin{cases} \mu/k, & \text{Re} < \text{Re}_{\text{кр}} \\ a + b|q|, & \text{Re} > \text{Re}_{\text{кр}} \end{cases} \quad (10)$$

В общей постановке уравнение движения вязкой жидкости может быть записано с помощью уравнения Навье-Стокса. Одним из точных решений данного уравнения является плоское движение Пуайзеля и может быть выражено следующей формулой [48, 52]:

$$v = \frac{\Delta P}{4\eta l} (R^2 - r^2), \quad (11)$$

где ΔP – градиент давлений, в нашем случае, это разница значения избыточного давления, Па, для каждого режима нагнетания $3 \cdot 10^5$ Па и $6 \cdot 10^5$ Па и атмосферного давления.

η – динамическая вязкость жидкости, Па*с;

l – длина участка, м;

R – радиус канала (поры);

r – расстояние от оси канала (поры), на котором рассчитывается скорость движения вязкой жидкости, в нашем случае 0 м;

Для определения границ применимости закона Дарси применяется критерий – число Рейнольдса, определяемого по формуле:

$$Re = \frac{q \rho \delta}{\eta}, \quad (12)$$

где q – (скалярная) скорость фильтрации; ρ – плотность жидкости; η – вязкость жидкости; δ – диаметр, определяемый пористой средой, т.е. поровый диаметр.

Стоит отметить, что критическое значение числа Рейнольдса сильно зависит от ряда факторов, в т. ч. и от искривления стенок макропор. Данное обстоятельство подводит нас к тому, что необходимо рассчитывать число Рейнольдса отдельно для каждой поровой структуры. Проведенные автором расчеты показывают, что число Рейнольдса лежит на отрезке от 0,1 до 25 для различных технологических режимов, что много меньше критического значения числа Рейнольдса (1000-1500). Данное обстоятельство свидетельствует о том, что переход движения клеевой композиции в турбулентных режим наблюдаться не будет.

Среди физических явлений, значительно влияющих на течение жидкости в пористом материале, возможно отметить: смачиваемость жидкостью материала пористого основания, капиллярного подсоса, вытеснение влаги и газа из пор, сжимаемость нагнетаемой жидкости, взаимное растворение и/или изменение концентрации нагнетаемой жидкости, различного рода воздействия на жидкость и пористый материал (тепловые, электромагнитные, звуковые и т.п. воздействия) и облитерация.

Информация о явлении облитерации каналов пористых сред систематизирована Ч.С. Лайдабоном. В труде [46] приведены сведения, что облитерация (закупорка капилляров) находит место при размерах щелей от 0,1-200 мкм. Данные размеры соответствуют диаметрам микропор в газобетоне, ввиду чего в процессе нагнетания ожидается эффект облитерации микропор.

Таким образом, приведена физическая модель и основные явления, влияющие на технологические параметра устройства анкеров методом нагнетания.

Прогнозирование несущей способности анкерной креплений

Основной задачей прикладных методов расчета строительных конструкций является достоверное определение разрушающей нагрузки. В производственной практике, как правило, способы расчетов 2-х типов – расчет на основании эмпирических закономерностей и расчет на основании конечно-элементной модели.

Ввиду низких деформационных свойств газобетона использование расчетных комплексов, построенных на методе конечных элементов (далее – МКЭ), затруднительно. По опыту автора, при решении задач в упругой постановке при приложении нагрузки к конечно-элементной модели в её узлах возникают концентраторы напряжений, которые образуют пики сжимающих или растягивающих усилий в материале. Данные пики вероятно, сопоставимы по характеру с усилиями в реальном блоке, но механика разрушения и перераспределение напряжений могут быть искажены.

Разработана методика расчета канальных анкеров на вырыв, в основе которой лежат теоретические и эмпирические зависимости, [16] и впоследствии утвержденная и рекомендованная к применению [17] из газобетонных блоков показывает хорошую сходимость результатов расчета и экспериментальных данных (см. таблицу 5). Значения кубиковой прочности приведены в соответствующих исследованиях ([16]; прил. В). Расчеты и стендовые испытания проведены на базе канального анкера *Sormat kbt 6*.

Таблица 5 – Разрушающая нагрузка на анкер Sormat kbt 6, установленный по классической технологии

Марка газобетона	Расчетная нагрузка по [17], кгс	Фактическая разрушающая нагрузка согласно опытам в [16], кгс	Фактическая разрушающая нагрузка по результатам стендовых испытаний, проведенных автором, кгс
1	2	3	4
D300	76,1	74,3	78,0
D400	105,4	107,0	112,3
D500	121,0	142,0	155,8

Расчет несущей способности анкера, установленного в газобетонный блок, проводится на вырыв и на срез. Необходимо отметить, что отечественной нормативно-технической литературой предусмотрен расчет несущей способности анкера лишь на вырыв [6]. Однако в реальном проектировании расчет кронштейнов также предлагается вести на пару сил (см. рисунок 19).

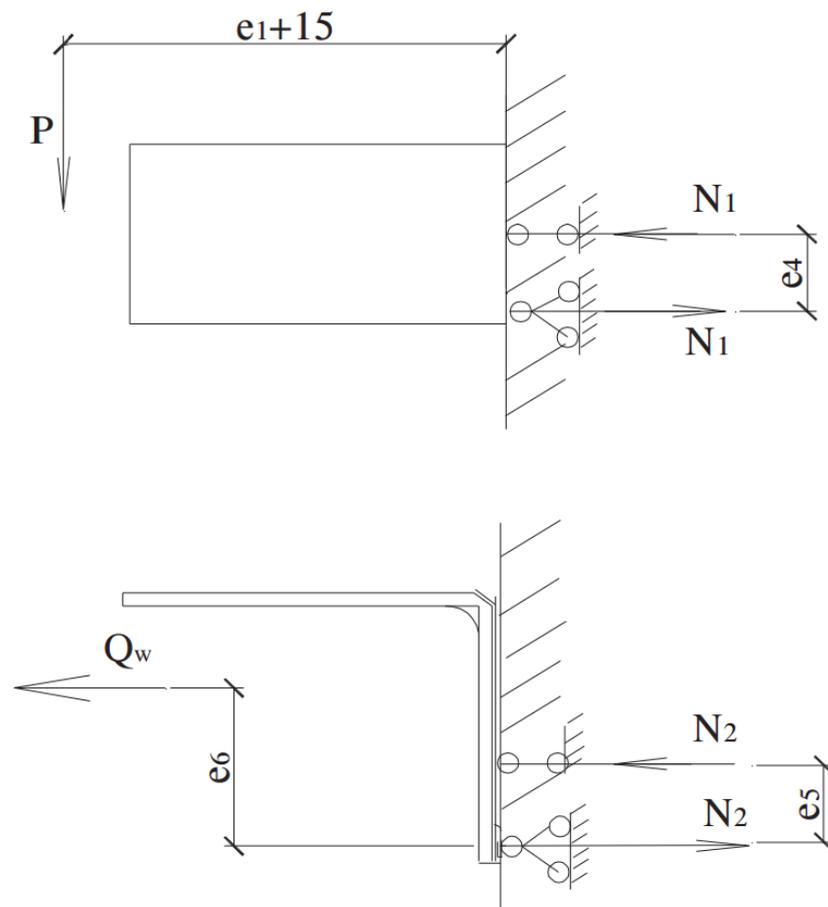


Рисунок 19 – Расчетная схема при креплении кронштейна НВФ
Исходные данные для расчета приведены в таблице 6:

Таблица 6 – Габариты анкера и расстояния до граней элемента, в который устанавливается анкер

Наименование показателя	<i>Sormat kbt 6</i> классическая установка
1	2
$d_{nom}, мм$	9,7
$h_{nom}, мм$	41,2 (см. рисунок 20)
$f_{ck,cube}, Н/мм^2$ (марка газобетона – D500)	3,007 (см. прил. В)
$c_1, мм$	110
$c_2, мм$	115
$h, мм$	250

Несущая способность анкера на срез по формуле 7 составляет:

Таблица 7 – Несущая способность анкерного крепления на срез, Н

Несущая способность	<i>Sormat kbt 6</i> классическая установка	<i>Sormat kbt 6</i> установка методом нагнетания
1	2	3
$V_{Rk,c}, Н$	3888	4814

Проектирование кронштейнов с приложением поперечной силы не практикуется и, как правило, поперечная составляющая нагрузки передается на химические анкера установленные в выпуска монолитных межэтажных перекрытий. Для обеспечения центрального нагружения анкера, например, при проектировании навесных вентилируемых фасадов (НВФ) при их креплении на несущие и ограждающие конструкции из газобетонных элементов, рекомендуется предусматривать овальные отверстия в каркасе НВФ.

Стоит отметить, что в расчет, в целях безаварийной эксплуатации, за разрушение принято превышение допустимых деформаций анкерной системы [96].

В целях численного определения несущей способности анкерного крепления, установленного по новой улучшенной технологии автором, предлагаются формулы 13, 14. Такая формула учитывает допущения, описанные в работах [16, 17] и в неё вводятся автором дополнительные допущения следующего характера:

– предполагается, что смятие газобетона под наружными выступами анкера не происходит и напряжения перераспределяются на основной массив газобетона равномерно через скелет газобетона и отвержденную клеевой композиции на базе эпоксидной смолы.

– предполагается, что срез между выступами дюбеля не происходит (ввиду пропитки клеевой композицией), а срез происходит равномерно по всей глубине эффективной анкеровки дюбеля.

В общем виде формула имеет вид:

$$N_{\text{вырыв}} = N_{\text{ср.эфф}} \quad (13)$$

где $N_{\text{ср.эфф}}$ – предельное усилие, необходимое для среза газобетона по границе проникновения клеевой композиции при нагнетании, Н;

Формула $N_{\text{ср.эфф}}$ основывается на формуле приведенной в [16] и принимает вид:

$$N_{\text{ср.эфф}} = 0,26\pi * d_{n,kr} * l_{\text{анк.эфф}} * R, \quad (14)$$

где $d_{n,kr}$ – диаметр, по которому происходит разрушение (см. рис 20), мм;

$l_{\text{анк.эфф}}$ – эффективная глубина анкеровки (см. рис 20), мм;

R – прочность газобетонного камня, МПа.

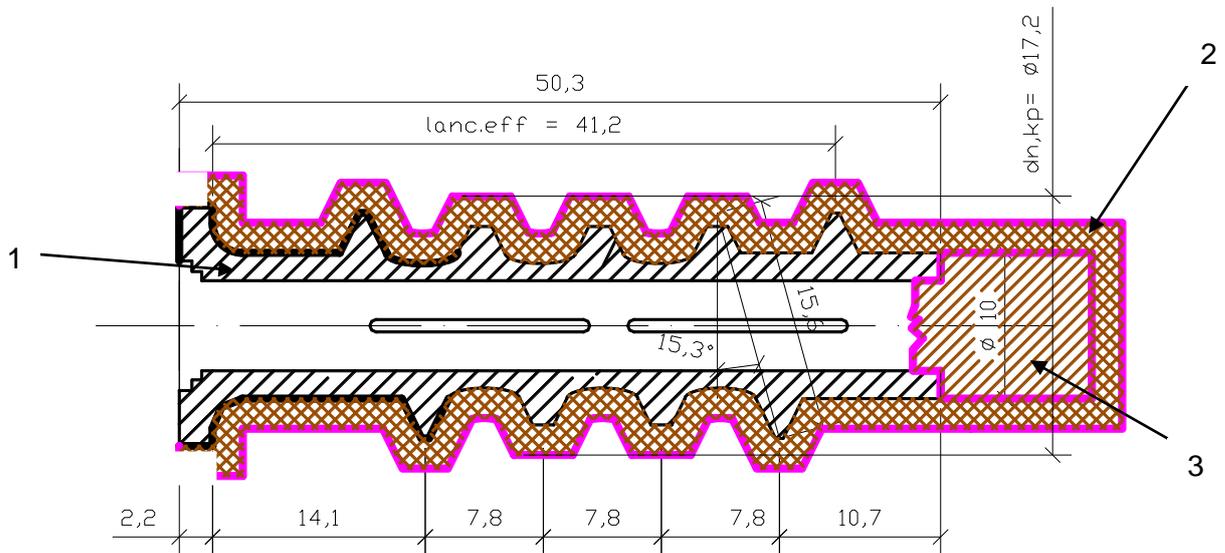


Рисунок 20 – Расчетная схема анкера, установленного методом нагнетания. 1 – дюбель; 2 – зона газобетона, пропитанная клеевой композицией; 3 – клеевая композиция в пяте анкера

Результаты определения несущей способности анкерного крепления модернизированный *Sormat KBT 6*, установленного методом нагнетания, приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Определение несущей способности анкерного крепления – модернизированного *Sormat KBT 6*, установленный методом нагнетания

№ п/п	Параметры дюбеля и расчетные позиции	Ед. изм	Модернизированный <i>Sormat KBT 6</i> , установленный методом нагнетания
1	2	3	4
1	d_n	мм	17,2
2	$l_{anc.eff}$	мм	41,2
3	R D300	кгс/см ²	22
4	R D400	кгс/см ²	25,13
5	R D500	кгс/см ²	30,07
6	$N_{вырыв D300}$	кгс	140,6
7	$N_{вырыв D400}$	кгс	160,6
8	$N_{вырыв D500}$	кгс	192,2

Полученные автором результаты будут использованы при разработке методики проведения стендовых испытаний.

Влияние теплотехнических свойств ограждений объемного проникновения клеевой композиции в ограждающую конструкцию

В настоящем разделе приведена оценка влияния клеевого состава, находящегося в зазоре между газобетонным блоком и нейлоновым дюбелем. Настоящий расчет рассмотрен для наружной ограждающей конструкции здания в составе – НВФ на газобетонное основание (конструкция ограждения приведена на см. рисунок 21). Ввиду того, что отдельный металлический каркас является мостиком холода, то к металлическому шурупу приложена температура наружного воздуха.

Расчетные температуры выбраны для по [84] и составляют (см. таблицу 9):

Таблица 9 - Климатическая характеристика

Населенный пункт	Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С, обеспеченностью 0,92	Температура внутреннего воздуха, °С
Санкт-Петербург	-26	+20

Температура внутреннего воздуха принята для жилых помещений в соответствии с п. 9.3 [89]

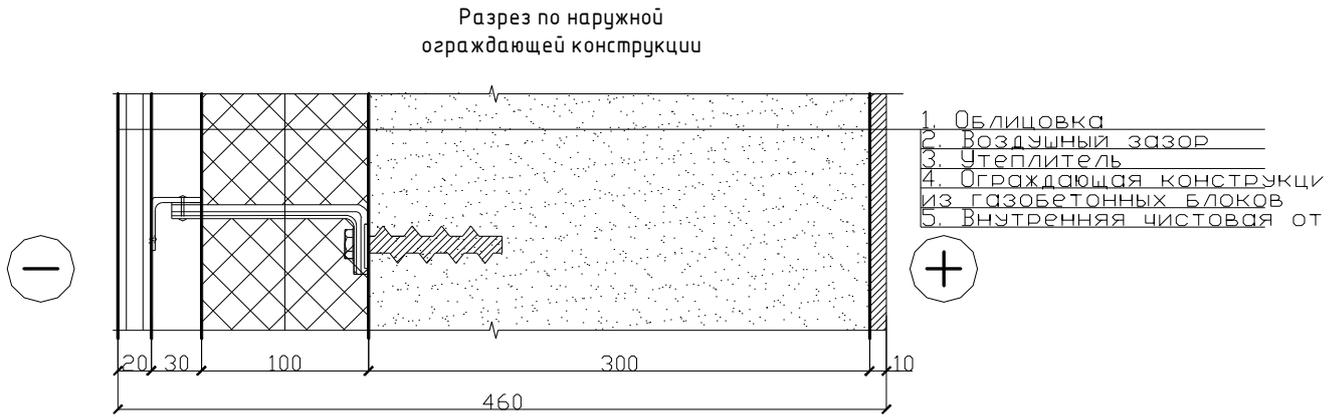


Рисунок 21 – Конструкция наружной ограждающей конструкции

Моделирование проведено в программном комплексе *Comsol Multiphysics*.

Входные параметры приведены в таблице 10:

Таблица 10 – Значения теплопроводности различных строительных материалов

№п/п	Материал	Теплопроводность, λ , Вт/(м*К)
1	2	3
1.	Газобетон, D300, в условиях эксплуатации	0,088
2.	Нейлон	0,260
3.	Эпоксидная смола	0,600
4.	Металлические элементы (сталь)	58
5.	Воздух	0,023
6.	Вспененный пенополистирол	0,032

Построение изолиний температурных полей произведено для двух случаев: при установке анкера по «классической» технологии и по нагнетательной (см. рисунок 22 и см. рисунок 23).

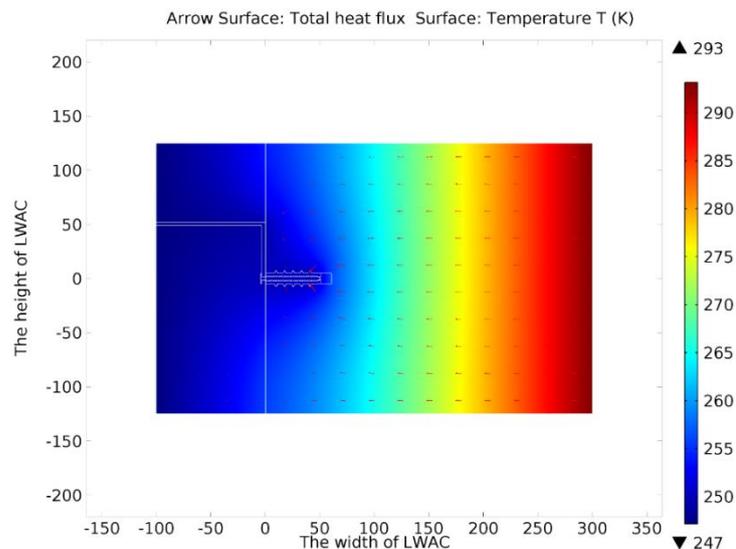


Рисунок 22 – Изополя теплового потока при устройстве анкерного крепления по классической технологии

Анализируя температурные изополя, возможно отметить, что пята лидерной скважины при использовании нагнетательной технологии монтажа анкера заполнена клеевым составом (см. рисунок 23).

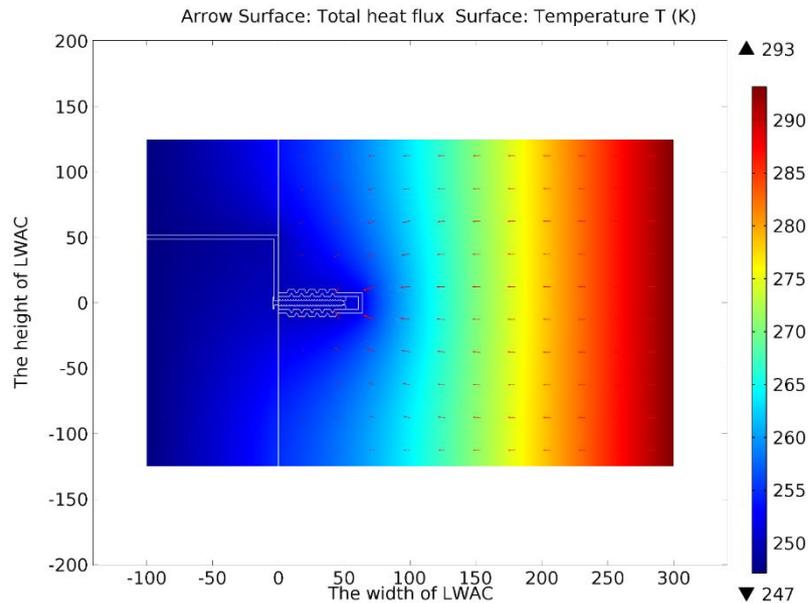


Рисунок 23 – Изополя теплового потока при устройстве анкерного крепления способом нагнетания

Общий характер направления температурных изополей сохранен. Показано, что влияние на клеевой композиции на температурный режим ограждающей конструкции допускается считать незначительным.

Выводы по второй главе:

1. Проанализированы и систематизированы теоретические предпосылки проникновения клеевых композиций в газобетонные основания. Исследована структура газобетона и свойства клеевых композиций с позиции нагнетания последней в газобетонное основание;
2. Разработан и запатентован в соавторстве новый улучшенный способ устройства анкерных креплений в газобетонных изделиях методом нагнетания;
3. Предложена физическая модель движения клеевой композиции по макро- и микрокапиллярам газобетонного основания, позволяющая количественно скорость движения клеевой композиции по технологическим полостям и поровой среде газобетона.

4. Выявлены факторы, влияющие на технологические параметры устройства анкерного крепления методом нагнетания в зависимости от физико-механических свойств газобетонного материала и клеевой композиции. Кроме того, выявлены технологические параметры, влияющую на конечную несущую способность анкерного крепления.

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА АНКЕРНЫХ КРЕПЛЕНИЙ МЕТОДОМ НАГНЕТАНИЯ

3.1 Обоснование технологических параметров

С целью определения оптимальных параметров устройства анкерных креплений в газобетонные элементы методом нагнетания проведена их экспериментальная установка при различных технологических режимах. Технологические режимы предусматривают вариацию четырех факторов:

по техническим характеристикам основания:

- 1) плотность основания (связанная характеристика – пористость);

по технологическим параметрам:

- 2) время нагнетания;
- 3) избыточное давление;

по техническим характеристикам нагнетаемого раствора:

- 4) динамическая вязкость.

Рассмотрим каждый из вариативных факторов с целью определения и прогнозирования их оптимальных значений. Подбор технологических параметров произведен по критерию максимального проникновения клеевой композиции в базовый поризованный материал.

Плотность (пористость основания) газобетона принята 300 кг/м^3 , 400 кг/м^3 , 500 кг/м^3 . Как видно из таблицы 4, объем сообщающихся пор растет при понижении плотности газобетона. Также, как видно из рисунка 14, объем твердой фазы в газобетоне уменьшается, следовательно, уменьшается и толщина стенок газобетона, что прямо влияет на глубину проникновения клеевой композиции. Дополнительно стоит отметить, что выбранная номенклатура газобетонных изделий наиболее широко распространена на строительном рынке. Прочностные и влажностные характеристики приведены в приложениях (В, Г).

Верхним пределом динамической вязкости выбрано значение – $20 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Данное значение обусловлено технологичностью клеевой композиции при её

загрузке в нагнетательное устройство, при большем значении динамической вязкости движение клеевой композиции по патрубкам без избыточного давления имеет низкую скорость. В данный отрезок вязкости на основании обзора в разделе 2.1. возможно включить композицию на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-20 (дин. вязкость 15-20 Па*с [22], прил. Г), ЭД-22 (дин. вязкость 8-12 Па*с, [22], прил. Г) и полимочевинной композиции (дин. вязкость 0,5-1,0 Па*с [100]).

Для удобства работы применено следующее шифрование режимов работы:

$$D300-ЭД22-3-15, \quad (15)$$

где значение на 1-ом участке – марка пористого основания, в которое проводилась установка анкера методом нагнетания; значение на 2-ом участке – сокращённое наименование клеевой композиции; значение на 3-ем участке – значение избыточного давления в атмосферах; значение на 4-ом участке – время нагнетания в секундах.

Выбор времени нагнетания и значение избыточного давления определен по критерию максимального проникновения клеевой композиции в газобетонный блок. Для этого следует выполнить расчет необходимого времени нагнетания для различных технологических режимов, приведённых в главе в 2. В представленной физической модели, выраженной формулой (8), при проведении приближенных (инженерных) расчетов представляется возможным пренебречь слагаемыми $\tau_{\text{внутр.}}$, $p_{\text{капил.}}$, $p_{\text{вытесн.}}$. Тогда участками прохождения клеевой композиции, принятыми в расчет, являются полый патрубок-сопло (участок 1), полости дюбеля (участок 2), макропоры (участок 3) и микропоры (участок 4). Каждый из участков характеризуется геометрическими параметрами, приведенными в таблице 11.

Таблица 11 – Характеристика полостей и каналов, по которым происходит движение клеевой композиции

№ участка п/п	Конструкция участка	Длина участка, м	Радиус канала (поры), м
1	2	3	4
Уч. 1	Полый патрубок и сопло	$6 * 10^{-1}$	$10,6 * 10^{-3}$
Уч. 2	Полость дюбеля	$5 * 10^{-2}$	$3 * 10^{-3}$
Уч. 3	Макропоры	$2 * 10^{-3}$	$5 * 10^{-4}$
Уч. 4	Микропоры (толщина стенки поровой структуры газобетона)	$1 * 10^{-4}$	$8 * 10^{-7}$

Данные, приведённые в вышеуказанной таблице, приняты по декларациям производителей и анализу графиков в главе 2. Стоит отметить, что дифференциальное распределение пор по их размерам, а также сами размеры пор, близки для газобетонов различных плотностей. Толщина стенки геометрически измерена автором по микрофотографиям (11, 12).

Таблица 12 – Определение времени и скорости движения клеевой композиции в полостях (каналах, порах) при её нагнетании в газобетонный блок

Шифр режима	Номер участка	Длина участка, м	Радиус канала (поры), м	Разность давления, Па	Вязкость р-ра, Па*с	Скорость*, м/с	Время, с	Сумма**, с
1	2	3	4	5	6	7	8	9
D300-ЭД22-3	Уч.1	8,Е-01	1,Е-02	2,Е+05	12	0,59	1,3	1,3
	Уч.2	5,Е-02	3,Е-03	2,Е+05	12	0,76	0,1	1,4
	Уч.3	2,Е-03	1,Е-04	2,Е+05	12	0,02	0,1	1,5
	Уч.4	2,Е-04	2,Е-07	2,Е+05	12	8,Е-07	236,9	238,4
D300-ЭД22-6	Уч.1	0,8	1,Е-02	5,Е+05	12	1,48	0,5	0,5
	Уч.2	0,05	3,Е-03	5,Е+05	12	1,90	0,0	0,6
	Уч.3	0,002	1,Е-04	5,Е+05	12	0,05	0,0	0,6
	Уч.4	0,0002	2,Е-07	5,Е+05	12	2,Е-06	94,7	95,3
D300-ЭД20-3	Уч.1	0,8	1,Е-02	2,Е+05	20	0,36	2,2	2,2
	Уч.2	0,05	3,Е-03	2,Е+05	20	0,46	0,1	2,4
	Уч.3	0,002	1,Е-04	2,Е+05	20	0,01	0,2	2,5
	Уч.4	0,0002	2,Е-07	2,Е+05	20	5,Е-07	394,8	397,3
D300-ЭД20-6	Уч.1	0,8	1,Е-02	5,Е+05	20	0,89	0,9	0,9
	Уч.2	0,05	3,Е-03	5,Е+05	20	1,14	0,0	0,9
	Уч.3	0,002	1,Е-04	5,Е+05	20	0,03	0,1	1,0
	Уч.4	0,0002	2,Е-07	5,Е+05	20	1,Е-06	157,9	158,9
D400-ЭД22-3	Уч.1	0,8	1,Е-02	2,Е+05	12	0,59	1,3	1,3
	Уч.2	0,05	3,Е-03	2,Е+05	12	0,76	0,1	1,4
	Уч.3	0,002	1,Е-04	2,Е+05	12	0,02	0,1	1,5
	Уч.4	0,0002	2,Е-07	2,Е+05	12	8,Е-07	236,9	238,4
D400-ЭД22-6	Уч.1	0,8	1,Е-02	5,Е+05	12	1,48	0,5	0,5
	Уч.2	0,05	3,Е-03	5,Е+05	12	1,90	0,0	0,6
	Уч.3	0,002	1,Е-04	5,Е+05	12	0,05	0,0	0,6
	Уч.4	0,0002	2,Е-07	5,Е+05	12	2,Е-06	94,7	95,3
D400-ЭД20-3	Уч.1	0,8	1,Е-02	2,Е+05	20	0,36	2,2	2,2
	Уч.2	0,05	3,Е-03	2,Е+05	20	0,46	0,1	2,4
	Уч.3	0,002	1,Е-04	2,Е+05	20	0,01	0,2	2,5
	Уч.4	0,0002	2,Е-07	2,Е+05	20	5,Е-07	394,8	397,3
D400-ЭД2-6	Уч.1	0,8	1,Е-02	5,Е+05	20	0,89	0,9	0,9
	Уч.2	0,05	3,Е-03	5,Е+05	20	1,14	0,0	0,9
	Уч.3	0,002	1,Е-04	5,Е+05	20	0,03	0,1	1,0
	Уч.4	0,0002	2,Е-07	5,Е+05	20	1,Е-06	157,9	158,9

Продолжение таблицы 12

Шифр режима	Номер участка	Длина участка, м	Радиус канала (поры), м	Разность давления, Па	Вязкость р-ра, Па*с	Скорость*, м/с	Время, с	Сумма**, с
1	2	3	4	5	6	7	8	9
D500-ЭД22-3	Уч.1	0,8	1,E-02	2,E+05	12	0,59	1,3	1,3
	Уч.2	0,05	3,E-03	2,E+05	12	0,76	0,1	1,4
	Уч.3	0,002	1,E-04	2,E+05	12	0,02	0,1	1,5
	Уч.4	0,0003	2,E-07	2,E+05	12	6,E-07	532,9	534,4
D500-ЭД22-6	Уч.1	0,8	1,E-02	5,E+05	12	1,48	0,5	0,5
	Уч.2	0,05	3,E-03	5,E+05	12	1,90	0,0	0,6
	Уч.3	0,002	1,E-04	5,E+05	12	0,05	0,0	0,6
	Уч.4	0,0003	2,E-07	5,E+05	12	1,E-06	213,2	213,8
D500-ЭД20-3	Уч.1	0,8	1,E-02	2,E+05	20	0,36	2,2	2,2
	Уч.2	0,05	3,E-03	2,E+05	20	0,46	0,1	2,4
	Уч.3	0,002	1,E-04	2,E+05	20	0,01	0,2	2,5
	Уч.4	0,0003	2,E-07	2,E+05	20	3,E-07	888,2	890,7
D300-ЭД2-6	Уч.1	0,8	1,E-02	5,E+05	20	0,89	0,9	0,9
	Уч.2	0,05	3,E-03	5,E+05	20	1,14	0,0	0,9
	Уч.3	0,002	1,E-04	5,E+05	20	0,03	0,1	1,0
	Уч.4	0,0003	2,E-07	5,E+05	20	8,E-07	355,3	356,3

Примечание. 1. Имеется в виду скорость движения клеевой композиции в канале (поре); 2. Сумма временных интервалов, рассчитанная по формуле $\sum_0^i x_i$, с.

Значение числа Рейнольдса по формуле 12 для полостей с характеристиками, приведенными в таблице 11, лежит на отрезке от 0,1 до 28, что много меньше числа, при котором происходит переход в турбулентный режим ($Re = 1000-1500$).

При анализе вышеприведённой таблицы, видно, что с высокой долей вероятности будет наблюдаться быстрое заполнение полостей и пространства макропор газобетона (до 5 – 10 с.). Проникновение через стенки пористого пространства возможно через небольшое количество пор с диаметрами 10^{-5} (см. рисунок 10), через поры с меньшим диаметром проникновение клеевой композиции наблюдаться не должно в течение предельного времени нагнетания 120 с.

Значение избыточного давления определялось техническими возможностями наиболее широко представленного компрессорного оборудования. При экспериментальной установке анкеров способом нагнетания использовался пневматический компрессор *Patriot 50-260* с максимально разрешённым давлением 8 атм. Как правило, использование техники предусматривается при нагрузке 70-

80% от максимально разрешённого, таким образом, верхнее рабочее давление ограничено значением 6 атм.

До выполнения основной серии установки образцов проведена подготовительная, пробная установка анкерных креплений. Время, которое необходимо для продвижения раствора по установке, а также время до появления первых протечек и небольшое время после протечек, выбрано как значение минимального, при котором возможно исключить технологические недостатки, такие как неполное проникновение раствора в полости между дюбелем и газобетоном.

По результатам проведенных расчетов и предварительного (пробного) устройства анкеров методом нагнетания автором принято решение о принятии к расчету следующих технологических параметров: 3 и 6 атм. в качестве избыточного давления и 15-120 с времени нагнетания.

3.2 Экспериментальный стенд

Стендовые испытания проведены в закрытом хорошо проветриваемом помещении при нормальных условиях.

Участок проведения испытания:

Специально выделенное помещение с нормальными условиями эксплуатации.

Измерительное и регистрационное оборудование:

В процессе выполнения устройства анкеров методом нагнетания использованы:

- Секундомер
- Манометры, поставляемые в комплекте с компрессором *Patriot 50-260*.
- Весы настольные с погрешностью 0,1 г.

Перечень технических и технологических параметров, учитываемых в стендовых испытаниях

Вариационные параметры:

– Базовые пористые основания: газобетонные блоки D300 размером ШхВхГ – 200х250х300мм; газобетонные блоки D400, D500 размером ШхВхГ – 200х250х250мм;

– Клеевые композиции: на основе эпоксидных смол ЭД-20 и ЭД-22 с отвердителем ХТ-118б; полимочевинная композиция – ХТ-2004 (в составе компонентов А и Б);

– Время нагнетания – 15, 30, 60, 120 с;

– Избыточное давление нагнетания – 3 и 6 атм.

Фиксированные параметры:

– Тип дюбеля: модернизированный вариант *Sormat kbt 6*;

– Глубина анкерки – 50 мм; глубина эффективной анкерки – 41,2 мм. (расстояние от лицевой поверхности основания до наиболее удаленного выступающего витка наружной спирали дюбеля);

– Диаметр тела дюбеля составляет 9,6 мм, наружный диаметр выступающих элементов спирали – 13,6 мм;

– Единая технологическая последовательность, включающая продувку и прочистку вновь просверленного основания;

– Нормальные, единые условия набора прочности клеевых композиций;

– Влажность пористого основания;

Сводный объем проводимых экспериментальных исследований приведен в таблицах 13-15.

Таблица 13 – Объем поставленных опытов по марке газобетона – D300

Номера образцов	Марка газобетона - D300					
	ЭД-20		ЭД-22		Полимочевинная композиция	
	р1, 3 атм.	р2, 6 атм.	р1, 3 атм.	р2, 6 атм.	р1, 3 атм.	р2, 6 атм.
1	2	3	4	5	6	7
t1 15	-	1	39	26	51	-
t2 30	-	2	40	27	52	-
t3 60	-	-	41	28	53	-
t4 120	-	4	42	29	-	-
<i>Sormat kbt 6</i>	77, 78, 79					
Кубы 10х 10х10 см на прочность	-					

Таблица 14 – Объем поставленных опытов по марке газобетона – D400

Номера образцов	Марка газобетона – D400					
	ЭД-20		ЭД-22		Полимочевинная композиция	
	р1, 3 атм.	р2, 6 атм.	р1, 3 атм.	р2, 6 атм.	р1, 3 атм.	р2, 6 атм.
1	2	3	4	5	6	7
t1 15	-	-	43	30	-	55
t2 30	-	-	44	34	-	56
t3 60	-	-	21	32	-	57
t4 120	-	-	46	33	-	-
<i>Sormat kbt 6</i>	80, 81, 82					
Кубы 10х 10х10 см на прочность	89, 90, 91					

Таблица 15 – Объем поставленных опытов по марке газобетона – D500

Номера образцов	Марка газобетона – D500					
	ЭД-20		ЭД-22		Полимочевинная композиция	
	р1, 3 атм.	р2, 6 атм.	р1, 3 атм.	р2, 6 атм.	р1, 3 атм.	р2, 6 атм.
1	2	3	4	5	6	7
t1 15	-	-	47	35	-	-
t2 30	-	-	48	36	-	-
t3 60	-	-	49	37	-	-
t4 120	-	-	50	22	-	-
<i>Sormat kbt 6</i>	83, 84, 85					
Кубы 10х 10х10 см на прочность	92, 93, 94					

Технические характеристики использованного поризованного материала – газобетона

Ввиду наличия у газобетона полезных свойств для применения технологии устройства анкерных креплений методом нагнетания, рассмотрим основные физико-технические свойства газобетонных блоков (таблице 16):

Таблица 16 – Физико-технические свойства газобетона различных марок

Марка газобетонного блока	Средняя плотность ¹ $\rho_{\text{ср}}$, кг/м ³	Класс бетона [90]	Предел прочности на сжатие, МПа
1	2	3	4
D300	300	B 2,0 (прил. Г)	2,200
D400	400	B 2,5 (прил. В)	2,513
D500	500	B 2,5 (прил. В)	3,007

Приготовление клеевых композиций для проведения испытаний и их физико-механические характеристики

Подготовительной технологической операцией является приготовление клеевой композиции перед её загрузкой в нагнетательную установку. Смешение компонентов композиции проводят в отдельной ёмкости и перемешивают требуемое время, как правило 8-10 мин. Смешивание может проводиться не только вручную, но и с использованием специальных машин и механизмов – при обоснованном объеме приготавливаемой смеси [45]. Приготовление клеевых композиций проводят согласно рекомендациям [22, 100]. В целях повышения жизнеспособности клеевой композиции на основе эпоксидных смол выбран отвердитель ХТ-118б (см. прил. Г). Время жизни эпоксидной композиции с использованием отвердителя ХТ-118б составляет от 3,0 – 5,0 ч [100], в отличие от применения отвердителя ПЭПА, жизнеспособность композиции которого составляет всего 1,5 ч. Полимерочевинная композиция состоит из компонентов А и Б, составы которых производителем не раскрываются [100]. Сводные данные о физико-механических характеристиках компонентов композиции и отвержденных смолах приведены в таблице 17.

Необходимо отметить, что заявленное время жизни полимерочевинной композиции составляет 0,5 ч, но фактическое схватывание происходит уже через 5-10 мин, и работа с композицией становится невозможна. Дополнительно стоит отметить, что полимерочевинная композиция также эффективно претерпевает схватывание даже в условиях динамического движения по патрубкам

¹ Средняя плотность принята согласно декларации производителя газобетонного блока

нагнетательного устройства. Итогом использования полимочевинной композиции явилось выведение из строя нагнетательной установки. Автор был вынужден собирать экспериментальный стенд вновь.

Таблица 17 – Физико-механические свойства клеевых композиций

Физические свойства	Смола ЭД-22, отвердитель ХТ-118Б	Смола ЭД-20, отвердитель ПЭПА	Полимочевинная композиция (ПМ), компоненты ХТ-2004А и ХТ-2004Б
Общее описание	Низковязкий двухкомпонентный состав на базе эпоксидной смолы и отвердителя аминного типа ХТ-118Б.	Низковязкий двухкомпонентный состав на базе эпоксидной смолы и полиэтиленполиамина	Полимочевинный состав на основе изоцианатного прдполимера ХТ-2004А и отвердителя аминного типа ХТ-2004Б
Приготовление смеси	100 г эпоксидной смолы и 25 г отвердителя (в соотношении 4:1 по массе), тщательное перемешивание в течение 10 мин	100 г эпоксидной смолы на 10-15 г отвердителя (соотношение от 10:100 до 15:100), тщательное перемешивание в течение 5-7 мин	Компоненты А и Б в соотношении 1:1 по весу тщательно перемешивают в течение 30 с
Отверждение композиции	Жизнеспособность после смешивания 3-5 ч; Режим отверждения – 20 С°/8-12 ч	Время желатинизации 25 мин, Режим отверждения 25 С°/5-7 дней. Возможно применение прогрева для увеличения скорости отверждения	Время желатинизации 10 мин., при нормальных условиях
Физические свойства отвержденной композиции	Динамическая вязкость 7-12 Па*с. [22] Эластичность при изгибе, мм, не более –1; Предел прочности при ударе, см, не более – 50; Водопоглощение при 20°С, %, не более – 0,02 Разрушающее напряжение при растяжении, МПа, не менее – 50; Разрушающее напряжение при сжатии, МПа – 108; Относительное удлинение – 3,6%.	Динамическая вязкость 13-20 Па*с. Разрушающее напряжение при растяжении, МПа – 50; Разрушающее напряжение при сжатии, МПа – 113; Относительное удлинение – 2,0%.	После смешивания: Вязкость при 25С°, Па*с - 0,5-1,0 Плотность, г/см ³ - 0,98-1,04; Время желатинизации, мин – 40-50; Время полного отверждения, ч 8-10; После отверждения: Предел прочности при разрыве, МПа, не менее – 8 Относительно удлинение при разрыве, % – 400-600 Адгезия к п-ти бетона, МПа, не менее–1,5
Техника безопасности	Общие требования	Общие требования	Общие требования

Во время приготовления клеевой композиции при добавлении отвердителя в эпоксидную смолу, будь то ЭД-20, ЭД-22 или компонент А для полимочевинной композиции, фактически наблюдалось некоторое снижение динамической вязкости. При проведении пробного замеса и загрузке клеевой композиции в нагнетательную установку автор пришел к выводу, что клеевые композиции с вязкостью более 12 Па*с являются нетехнологичными ввиду того, что их загрузка в нагнетательную установку затруднена и требует значительного времени.

По результатам пробных смешений, анализа литературных данных и данных поставщиков, автором принят основной рабочий вариант – использование смолы ЭД-22 с отвердителем ХТ-118б.

В целях подбора состава, с помощью которого возможно очистить патрубки монтажной нагнетательной установки, проанализирована информация [100] об устойчивости клеевой композиции на базе эпоксидной смолы к щелочным, кислым и органическим растворам (см. таблицу 18).

Таблица 18 – Химическая активность отвержденных эпоксидных смол

Вещество	Концентрация, %	Стойкость образца 3 месяца при 23°C
1	2	3
Аммиак, водный р-р	10	Устойчив
Бензол	100	Не устойчив
Ацетон	100	Не устойчив
NaOH р-р	50 г в 100 г	Относительно устойчив
NaCl р-р	50 г в 100 г	Относительно устойчив
HCl	37	Относительно устойчив
Этиловый спирт	96	Не устойчив

Принимая в учет общеизвестную информацию о распространённости ацетона и его способности изменять структуру эпоксидных смол в положительную технологическую сторону, связанную с помывкой и очисткой патрубков нагнетательной установки, применение для этих целей ацетона является целесообразным.



Рисунок 24 – Лабораторная установка для устройства анкеров методом нагнетания в базовые пористые основания (газобетонные блоки). 1 – гидроизоляция сопла; 2 – сопло; 3 – регулировочные манометры; 4 – полый гибкий патрубок для подачи сжатого воздуха; 5 – устройство подачи клеевой композиции под избыточным давлением; 6 – шаровые краны; 7 – загрузочное отверстие; 8 – ресивер компрессионной установки; 9 – шаровый кран регулирования подачи клеевой композиции; 10 – емкость для размещения рабочего объема клеевой композиции

Принципиальная схема работы установки

Стендовые испытания по устройству анкерных креплений методом нагнетания проводились в лаборатории при нормальных условиях. Рабочий стенд показан на рисунке 15. Система состоит из компрессора с предельным рабочим давлением 8 атм., из шлангов усиленных высокого давления, переходов типа

елочка, полимерных труб $\text{Ø}20\text{-}50$ мм и шаровых кранов соответствующих диаметров. Для элемента, который непосредственно устанавливался в дюбель, использовался миксер Hilti для химических анкеров с наличием ленты ФУМ конце в качестве изоляции от истечения раствора. Клеевая композиция приготавливается заранее и загружается через приемный патрубок 7 (см. рисунок 24). Реализованная специальная конструкция дюбеля приведена на рисунке 25.



Рисунок 25 – Фотография используемого анкера. На фото видны уменьшенные промежуточные выступы спирали, углубления на теле дюбеля и уплотнительная лента ФУМ на голове дюбеля

Предлагаемый метод обладает следующими преимуществами перед известными:

- повышение прочностных характеристик базовых пористых оснований в приконтактной зоне;
- перераспределение монтажных напряжений со скелета газобетона на композитное клее-газобетонное тело;
- передача динамических нагрузок на основной массив газобетона без образования дополнительного смятия, и, следовательно, без образования микроударных нагрузок при динамическом воздействии;
- возможность контролировать технологические параметры устройства анкерных креплений в зависимости от свойств основания и клеевой композиции;
- предотвращение раскручивания анкера в процессе эксплуатации;
- возможность контроля массы клеевой композиции, нагнетаемой в дюбель и газобетон.

Технологическая последовательность устройства анкеров методом нагнетания

Технология устройства анкерного крепления в базовых пористых материалах методом нагнетания включает в себя следующие технологические процессы:

1. Приготовление клеевой композиции;
2. Загрузка клеевой композиции в нагнетательную установку;
3. Разметка основания;
4. Устройство отверстия;
5. Продувка и прочистка отверстия;
6. Установка полого дюбеля;
7. Установка сопла нагнетательной установки в проходное отверстие дюбеля;
8. Подача клеевой композиции под избыточным давлением различных значений и в течение различного времени;
9. Установка шпильки или самореза;
10. Выдерживание устроенного крепления в течении 24 ч без нагрузки до набора проектной прочности клеевой композиции.

Процесс нагнетания клеевой композиции приведен на рисунке 26. Как видно на фотографии, удерживать нагнетательную установку под давлением не вызывает сложностей, кроме того решение с лентой ФУМ в целях герметичного сопряжения сопла и тела дюбеля оказалось приемлемым. Потери клеевой композиции автором оцениваются в 3-5 г, однако данный показатель может быть улучшен при дополнительной конструктивной отработке.

При дополнительной технической проработке возможна организация выпуска дюбелей специальной конструкции в заводских условиях, причем вместо ленты ФУМ на голове дюбеля может быть использовано прорезиненная намотка или напыление.



Рисунок 26 – Процесс подачи клеевой композиции через сопло нагнетательной установки в ранее установленный дюбель

По результатам серии пробного устройства анкерных креплений автором при содействии коллег распилен пилой по газобетону газобетонный блок поперек для фиксации глубины проникновения клеевой композиции. Как видно на рисунке 27, глубина проникновения составила ориентировочно 1,5-2,0 мм, что увеличивает рабочую площадь анкера на 30,3 %.



Рисунок 27 – Продольный разрез установленного анкера. Фотография выполнена до схватывания композиции

Ввиду ранее рассмотренных полезных свойств клеевой композиции на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-22 стоит подчеркнуть отсутствие усадки при отверждении смолы, что создает «камуфлет» вокруг полимерного дюбеля, который эффективно передает напряжения на основной массив дюбеля.



Рисунок 28 – Складирование анкерных креплений на период набора прочности

Хранение газобетонных блоков с установленными анкерными креплениями проведено в нормальных (комнатных) условиях (см. рисунке 28). Заготовлены и измерены габаритные размеры газобетонных кубов, которые в дальнейшем испытаны на одноосное сжатие.

В общей сложности установлены 48 анкерных креплений при различных технологических режимах. Данный объем позволяет выявить зависимости надежности и несущей способности от всех вариативных параметров, предложенных автором к учету.

3.3 Методика проведения испытаний

Натурные испытания проведены согласно стандартной методике [96]. Выбор настоящей методики для проведения испытаний анкерных креплений обусловлен

возможностью определения фактической зоны упругой работы анкерной системы. Схема закрепления газобетонного блока в испытательной установке приведена на рисунке 29. На краях газобетонного элемента размещены металлические пластины толщиной 4 мм в целях перераспределения противодействующей вырыву нагрузки. Закрепление проведено с помощью строительных четырех струбцин. Расстояние от места установленного анкера до пластин соответствует требованиям [96] и принято равным более 100 мм.

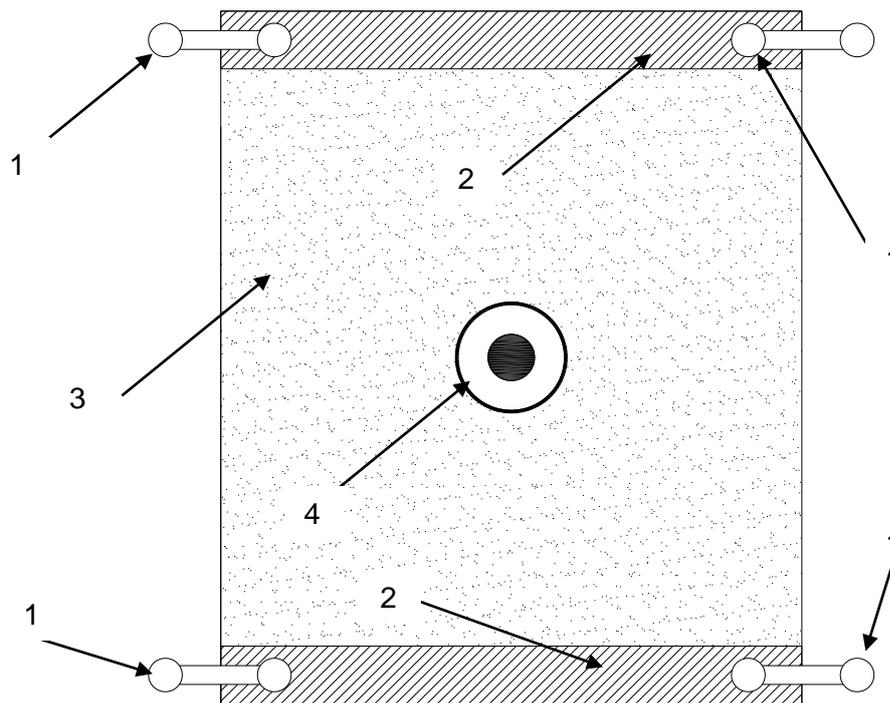


Рисунок 29 – Схема закрепления испытываемого образца размером 250x300 мм. 1 – струбцина, 2 – стальной лист 4x25x250 мм; 3 – газобетонный блок; 4 – установленный анкер с закрепленным самоцентрирующимся захватом

Первоначально определена кубиковая прочность газобетонных кубов на сжатие R путем испытаний кубиков размером 10x10x10 см на сжатие в прессе по [21]. Количество испытанных кубов каждой плотности – 3 шт. За расчетную величину кубиковой прочности газобетона на сжатие принято среднеарифметическое значение (см. таблицу 16).

Стендовые испытания проводились по следующей методике:

- установка анкерных креплений по нагнетательной технологии с проведением необходимых промежуточных технологических операций;

- проведение 4-х факторных стендовых испытаний. При устройстве анкерных креплений варьировались следующие физические показатели: избыточное давление, динамическая вязкость клеевой композиции, время подачи клеевой композиции, плотность базового основания;
- осуществление выдержки устроенных анкеров на срок более 24 ч (до окончательного набора прочности клеевой композицией согласно рекомендациям производителя);
- испытание образцов с поочередной нагрузкой и разгрузкой образца.

Механика разрушения макропористых материалов – газобетона, пенобетона и других материалов, отлична от плотных материалов – тяжелых бетонов [36, 81]. Работа макро- и мезопористых материалов в зоне пластических деформаций носит индивидуальный характер для каждого материала и с трудом поддается комплексному обобщению. Ввиду чего, важным обстоятельством является определение фактической упругой зоны работы пористого материала, которая обеспечивает требуемый уровень надежности строительной конструкции.

Выявление особенностей работы пористых материалов представляется уместным рассмотреть на примере методики проведения исследования несущей способности анкеров на испытательной машине *Instron 10 kN*. Стоит отметить, что вопрос крепления навесных вентилируемых фасадов на ограждающие конструкции из конструкционно-теплоизоляционных материалов актуален в целом [11]. Согласно рекомендациям [96], в целях определения фактической упругой зоны работы анкера нагрузку прикладывают согласно графику на рисунке 31.

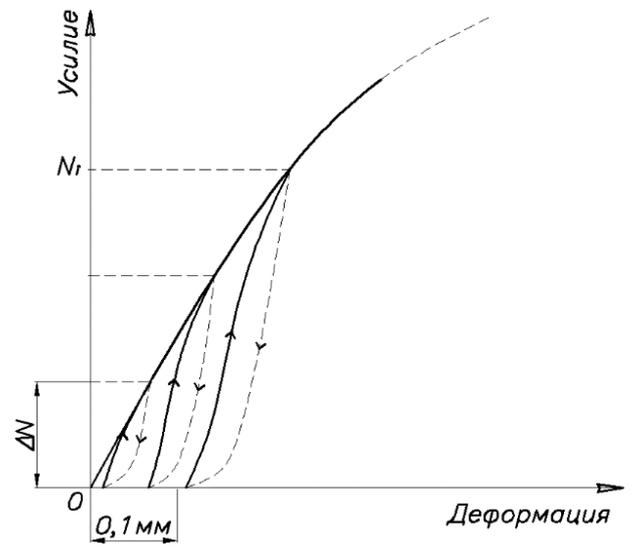


Рисунок 30 – Схема образования остаточных креплений анкерного крепления при приложении возрастающей циклической нагрузки

Значение нагрузки по оси ординат варьируется от габаритов анкерного крепления и прочности материала основания.

Для непосредственного измерения нагрузки, соответствующей окончанию зоны упругих деформаций, осуществляют ступенчатое нагружение анкера до разрушения со сбросом нагрузки на каждой ступени в интервале нагружения от 0 до 50% от теоретического значения разрушающей нагрузки. При этом, на каждой ступени образец выдерживают под нагрузкой в течение 1,0 мин, фиксируют значения нагрузок и деформации, включая наличие и значения остаточных деформаций после снятия нагрузки (см. рисунке 30). Разгрузку осуществляют до 80 кгс, что обусловлено необходимостью закрепления образца и его массой с металлическими пластинами и четырьмя струбцинами. Образцы нагружают центрально. В качестве разрушающей принимают нагрузку, после снятия которой деформации анкера составили более 0,1 мм.

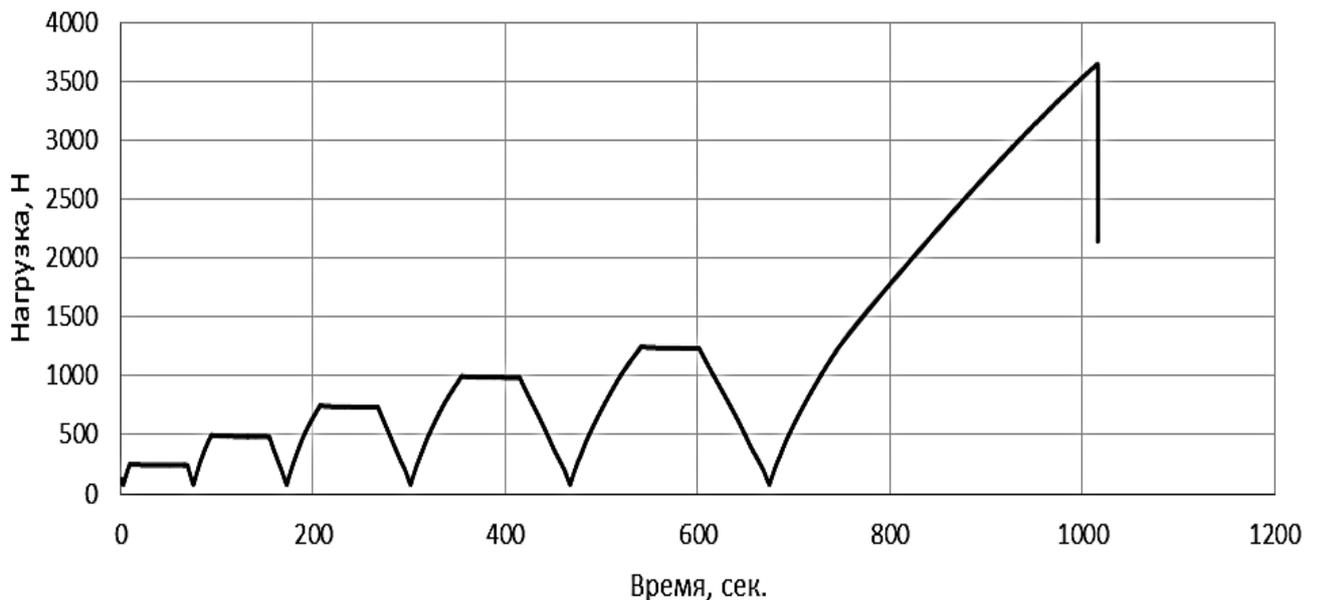


Рисунок 31 – Пример этапов нагружения образца №35 – плотность газобетона 300 кг/м³, избыточное давление 6 атм., время нагнетания клеевой композиции 15 с

Нагружение образцов произведено на испытательной машине *Instron 10 кН*. Общий вид установки приведен на (см. рисунок 32). Крепление осуществлено с использованием самоцентрирующегося захвата (см. рисунок 33).

Первоначально, для определения отправной точки и этапов нагружения проведены испытания анкерных креплений Sormat kbt 6, установленных по классической технологии. Для каждого случая при установке в газобетонные блоки согласно рекомендациям [96] аналитически определена несущая способность которая составляет и выявлены шаги нагружения (от 10% до 50% от значения несущей способности). Этапы нагружения и значения прикладываемой нагрузки приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Этапы приложения нагрузки на анкерное крепление, Н

Марка газобетона	Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4	Этап 5	Заключительный этап
1	2	3	4	5	6	7
D300	120	240	360	480	600	до разрушения
D400	220	440	660	880	1100	до разрушения
D500	250	500	750	1000	1250	до разрушения

Известно, что на приборах с механическим отображением данных измерений имеется отклонение от истинных значений в сторону занижения и завышения значений в первой и последний трети шкалы делений соответственно. Измерительная система машины Instron 5966 с использованием датчика нагрузки серии 2580 работает в диапазоне измерения нагрузки 1:500. В данном случае, динамометрический датчик используется от 0.2% до 100% его номинального значения без потери точности. Точность измерения нагрузки составляет 0.5% от измеренных значений [91]. Фиксация значений при испытании происходит посредством ЭВМ в автоматическом режиме, что позволяет исключить «человеческий фактор».



Рисунок 32 – Общий вид испытательной установки



Рисунок 33 – Крепление дюбеля с использованием самоцентрирующегося захвата (повернуто)

Установка анкерных креплений в лабораторных условиях проводилась при загрузке нагнетательной установки одним клеем сначала при большем давлении (6 атм.) и после при меньшем давлении (3 атм.) при различном времени нагнетания. Для удобства анализа результаты систематизированы автором в различных вариациях в целях наглядного представления результатов.

До проведения основной серии экспериментов выполнена установка пробной серии образцов при различных значениях избыточного давления.

Для определения фактической разрушающей нагрузки проведены испытания на вырыв анкеров *Sormat kbt*, установленных по классической технологии. Серия испытаний анкеров содержала 3 образца для каждой из марок газобетона – D300, D400, D500. После этого произведено испытание образцов, установленных по различным технологическим режимам.

3.4 Анализ результатов экспериментальных данных

Результаты проведения стендовых испытаний интерпретированы в разрезе исследования несущей способности анкерного крепления от четырех вариативных технологических параметров – плотности материала, вязкости клеевой композиции, значения избыточного давления нагнетания, времени нагнетания.

Характер разрушения различен для анкеров, установленных методом нагнетания с применением полимочевинной композиции, клеевой композиции на основе эпоксидных смол и анкеров, установленных по классической технологии.

Характер разрушения анкера, установленного по классической технологии имеет хорошую сходимость с ранее известной схемой распределения напряжений и разрушением образцов [18]. Механика разрушения, заложенная в расчет, предусматривает две проверки по прочности – смятие под выступающей выступами спирали канального анкера и срез на площадке между выступающими выступами спирали. В данном случае, видно, что несущая способность данного канального анкера *Sormat kbt б* определяется несущей способностью площадки между выступами спирали на срез.

В таблице 20 приведены фотографии образцов после испытаний на вырыв. Общая схема шифрования приведена в разделе 3.1. При более детальном рассмотрении каждого из образцов (см. таблицу 20), возможно отметить, что в газобетоне марки D300 конус отрыва, как правило, не образовывался, либо имел нестабильные габариты. Отличительной особенностью испытаний на вырыв Sormat kbt 6 из газобетонных блоков марок D400 и D500 явился конус отрыва, причём конус отрыва имел различные габариты и глубину. Большая глубина конуса отрыва имела у газобетонных блоков марки D500, что связано с их повышенными прочностными свойствами по отношению к газобетонным блокам D400. Особенностью разрушения необходимо отметить значительные остаточные деформации при циклическом нагружении.

Таблица 20 – Фотофиксация разрушенных анкерных креплений, установленных по классической технологии

Испытанные образцы Sormat kbt 6, установленные по классической технологии в газобетонные блоки соответствующих плотностей		
Базовое основание, примечание	Виды образца сверху	Вид конуса отрыва
1	2	3
<p>Sormat kbt 6, установленный по классической технологии в газобетон марки D300; Образцы: 77, 78, 79</p>		

Продолжение таблицы 20

Испытанные образцы Sormat kbt 6, установленные по классической технологии в газобетонные блоки соответствующих плотностей		
Базовое основание, примечание	Виды образца сверху	Вид конуса отрыва
1	2	3
Sormat kbt 6, установленный по классической технологии в газобетон марки D400; Образцы: 80, 81, 82		
Sormat kbt 6, установленный по классической технологии в газобетон марки D500; Образцы: 83, 84, 85		

Разрушенные образцы при установке в газобетонные блоки марки D300 при различных технологических параметрах приведены в таблице 22. При детальном рассмотрении образца установленного при режиме 300-ПМ-3, а также при учете положений, изложенных в разделе 2.1., видно, что на максимальной глубине проникновения полимочевинная композиция претерпевает значительную усадку при отверждении, что образует «капли» в порах, что отчетливо видно на микрофотографии на рисунке 34. Отвержденная полимочевинная композиция имеет низкую адгезию к газобетону. Вкупе данные обстоятельства свидетельствуют, что в зоне проникновения полимочевинной композиции в газобетоне образуются дополнительные напряжения, что негативно сказывается на несущей способности анкерного крепления.



Рисунок 34 – Микрофотография граничной зоны, в которую нагнеталась клеевая композиция на основе полимочевины. 1 – клеевая композиция в виде капли; 2 – скелет газобетона

Усадка полимочевинной композиции создает концентраторы напряжений и впоследствии при приложении к анкерному креплению вырывающей нагрузки, разрушение как раз проходит по указанным концентраторам. Подтверждением возникновения дополнительных напряжений является форма газобетона на дюбеле, которая достаточно точно повторяет выступы спирали дюбеля.

Ввиду того, что композиции на основе эпоксидной смолы лишены недостатка полимочевинной композиции – значительной усадки, то при разрушении образцов напряжения с контактной зоны равномерно передаются на основной массив базового материала. Кроме того, необходимо отметить, что клеевая композиция «омоноличивает» пористую структуру газобетона, заполняя свободное пространство под давлением, и эффективно включается в работу. Ввиду высоких прочностных характеристик клеевой композиции на растяжение и адгезию к бетонным материалам среза и смятия композитного материала газобетон-эпоксидная смола под выступами дюбеля не происходит, и нагрузка передается на основной массив базового материала.

Кроме того, увеличение высоты конуса вырыва обусловлено включением в работу набравшей прочность клеевой массы в пяте анкера, а именно в полости, образованной излишней глубиной при сверлении.

Продольные трещины обусловлены схемой закрепления газобетонного образца. Упоры испытательной установки находились на расстоянии двукратной глубины анкерки дюбеля, что соответствует рекомендациям [96].

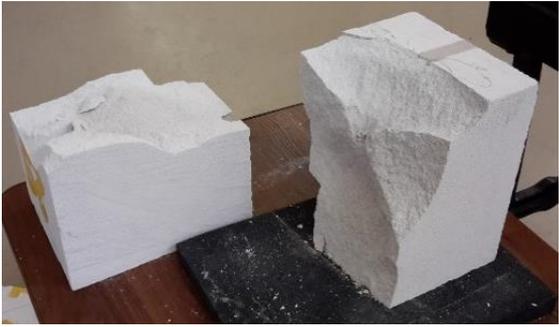
Результаты испытания анкерных креплений, установленных в газобетонные блоки марки D300 по различным технологиям

Согласно намеченной методике проведения стендовых испытаний, проведены циклические нагружения анкерного крепления с последующим нагружением до разрушения. В таблице 21 приведены испытанные образцы, на фотографиях которых видна механика их разрушения.

Таблица 21 – Испытанные образцы с использованием модернизированного дюбеля *Sormat kbt 6*, установленные методом нагнетания в газобетонные блоки марки D300

Испытанные образцы с использованием модернизированного дюбеля <i>Sormat kbt 6</i>, установленные методом нагнетания в газобетонные блоки марки D300		
Базовое основание, примечание	Виды образца сверху	Вид конуса отрыва
1	2	3
300-ПМ-3 Образцы: 51,52,53 (метод нагнетания, по-лимоцевинная композиция)		

Продолжение таблицы 21

Испытанные образцы с использованием модернизированного дюбеля <i>Sormat kbt 6</i>, установленные методом нагнетания в газобетонные блоки марки D300		
Описание	Виды образца сверху	Вид конуса отрыва
<p>300-ЭД20-6 Образцы: 1,2,4 Клеевая композиция на основе эпоксидной смолы ЭД-20 не дает усадки при твердении и эффективно передает нагрузку с контактной зоны, омоноличивая её, на основной массив газобетонного блока</p>		
<p>300-ЭД22-3 Образцы: 39,40,41,42 (см. примечание выше)</p>		
<p>300-ЭД22-6 Образцы: 26,27,28,29</p>		

Значение несущей способности анкерных креплений приведены в таблице 22.

В качестве значения несущей способности анкерного крепления *Sormat kbt 6* принято значение по результатам серии измерений из 3-х образцов (см. прил. В)

Таблица 22 – Значения несущей способности анкерных креплений в зависимости от различных технологических параметров

Время, с	Несущая способность, режим 300-ПМ-3, Н	Несущая способность, режим 300-ЭД20-6, Н	Несущая способность, режим 300-ЭД22-3, Н	Несущая способность режим 300-ЭД22-6, Н
1	2	3	4	5
15	994	1264	1838	1479
30	1011	1320	1733	1820
60	1005	-	1828	1917
120	-	1516	1779	1607

Значения вышеприведенной таблицы сведены в график на рисунке 35. По результат анализа построенных графиков, видно, что значение несущей способности полимочевинной композиции не зависит от времени нагнетания. Принимая во внимание тот факт, что полимочевинная композиция признана нетехнологичной при данном способе устройства анкерных креплений, её анализ продолжать не представляется целесообразным.

При анализе графика 35 необходимо обратить внимание, что граничными условиями могут выступить следующие выражения:

$$A_0(x_0; y_0) = A(x = 0; y = N_{kbt \ 6}), \quad (16)$$

$$\lim_{\alpha \rightarrow 0} \frac{dy}{dx} = 0 \quad (17)$$

Следовательно, график в идеальном состоянии должен быть лишь восходящим, причем с горизонтальной асимптотой. Наличие резкого падения графика 300-ЭД-22-6 на значении 120 с обусловлено сокращением рабочей площадки ввиду наличия технологической полости для укладки газобетона (см. рисунок 26). График на рисунке 34 показывает возрастание несущей способности анкерного крепления в диапазоне от 89,6% до 145,7%.

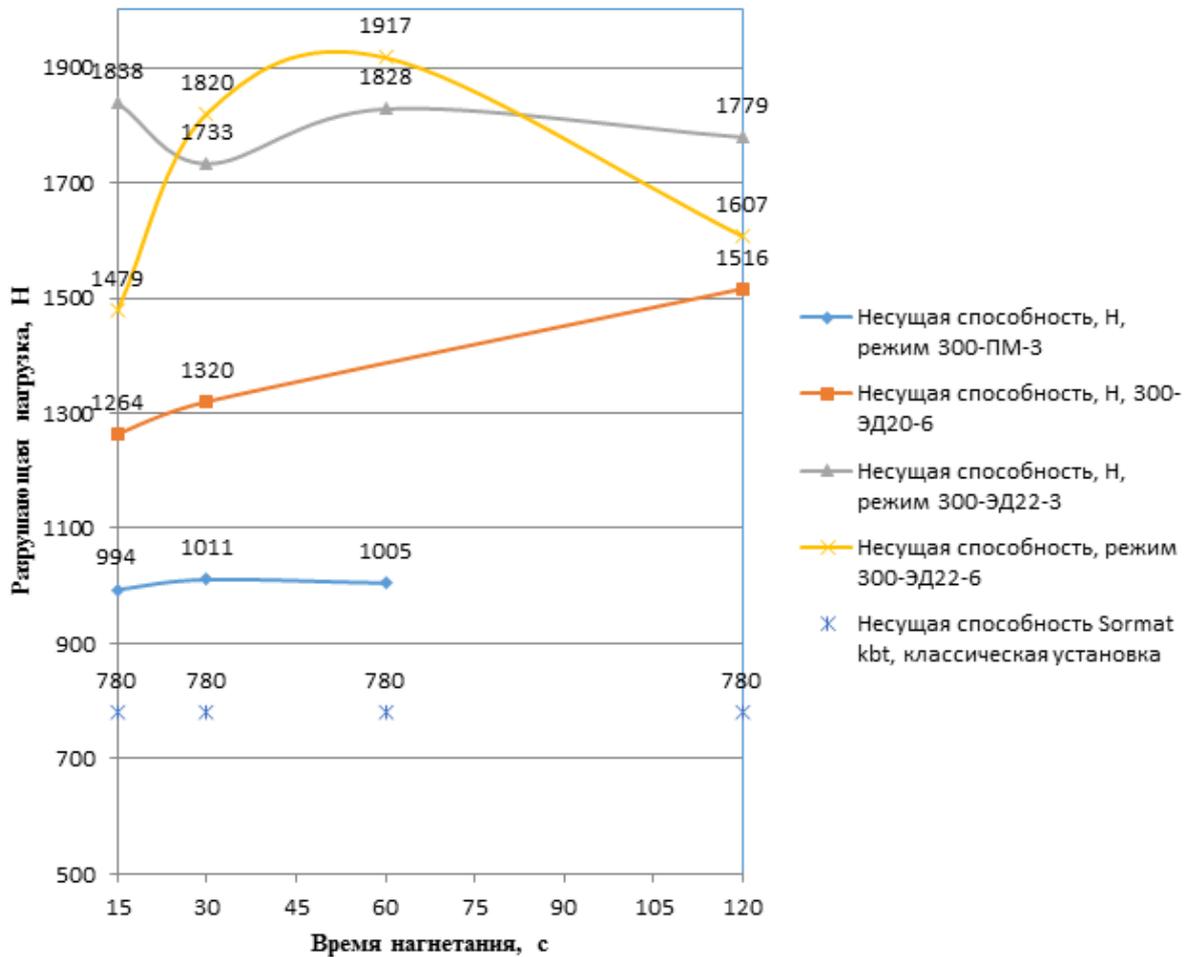


Рисунок 35 – Зависимость разрушающей нагрузки F от времени нагнетания в газобетонные блоки марки D300

Аппроксимация аналитическими кривыми выполнена с помощью программы *Curve Expert 1.4*. Принимая во внимание изложенные позиции, относительно приближения графика к истинному, возможен значительный рост коэффициента корреляции. Настоящие зависимости по своему сущностному характеру могут быть аппроксимированы аналитической зависимостью:

$$y = ae^{b/x} \quad (18)$$

где a , b – коэффициенты, полученные эмпирическим путем.

В нашем случае, для каждого технологического параметра коэффициенты по формуле 17 приведены в таблицу 24.

Таблица 23 – Значения аналитических коэффициентов

Шифр режима:	Значения коэффициентов
1	3
300-ЭД20-6	$a = 1.52656724725E+003$ $b = -3.14332662428E+000$ Стандартное отклонение: 67.1313535 К-т корреляции: 0.9334389
300-ЭД22-3	$a = 1.77439245817E+003$ $b = -3.59542904966E-001$ Стандартное отклонение: 55.7202776 К-т корреляции: 0.6429182
300-ЭД22-6	$a = 1.83890504875E+003$ $b = -2.45025062867E+000$ Стандартное отклонение: 204.3093881 К-т корреляции: 0.5454756

По листингам, полученным по результатам испытаний, построены зависимости нагрузка-деформация, которые отражают механику работы анкерного крепления. Кривые построены со смещением на 0,5 мм по оси абсцисс для удобства работы с ними. Разрушение образцов 1, 4, 39, 42 (см. рисунок 35) имеет хрупкий характер, что видно при резком изменении значения ординаты вблизи от экстремального значения. Характер разрушения *Sormat kbt 6* имеет упругопластический характер и коррелируем с зависимостями, приведенным в разделе 1.2.

На рисунке 36 а,б,в,г приведена увеличенная зона работы анкеров в диапазоне от 0,0мм до 0,2мм. Установлено, что анкерные крепления, установленные по нагнетательной технологии, имеют значительно меньшие значения остаточных деформаций после разгрузки (образцы – 1, 4, 39). Остаточные деформации лежат в диапазоне 0,0 – 0,1 мм вплоть до нагружения до 50% от несущей способности анкера. Следовательно, за расчетное значение нагрузки допускается принимать половину значения разрушающей нагрузки. Напомним, что разгрузка образцов происходит до 50 кгс в целях исключения люфта.

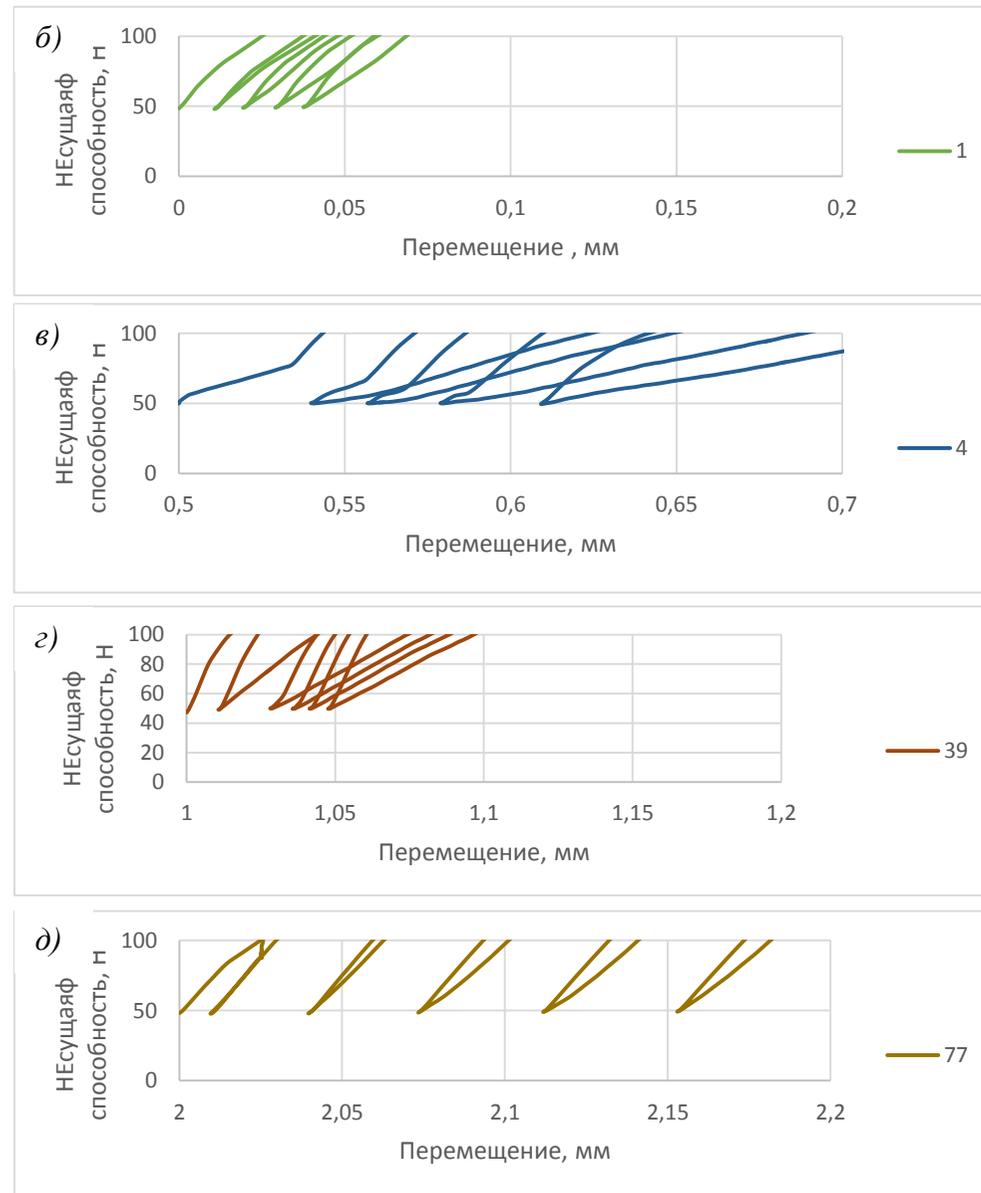
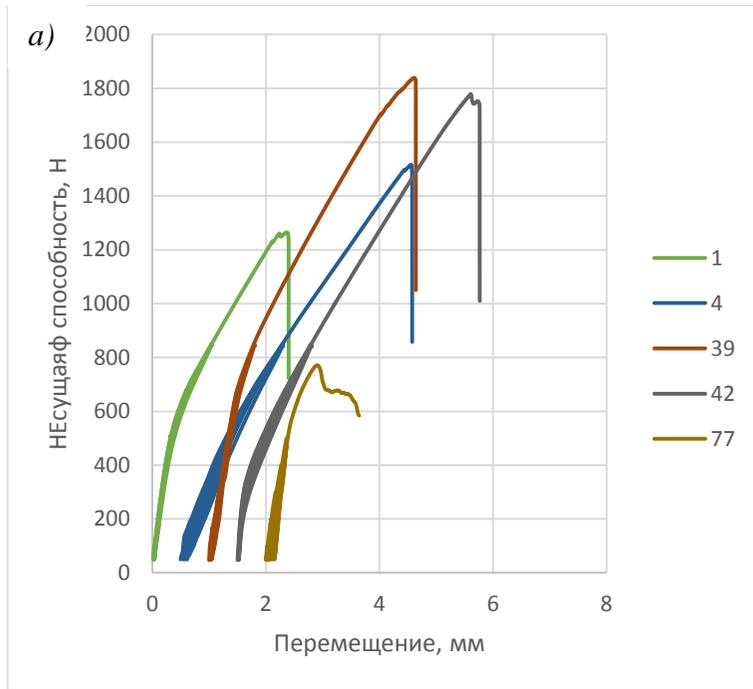
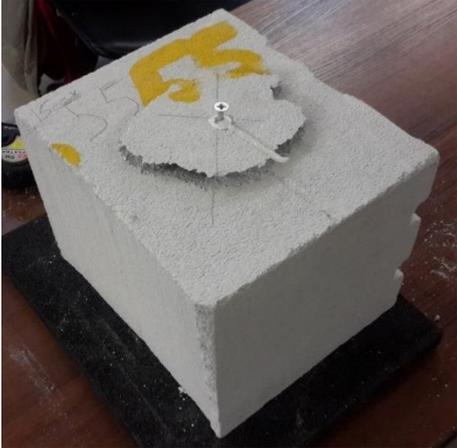


Рисунок 36 – Диаграммы нагрузка-перемещение анкерных креплений, установленные в газобетон марки D300 различными способами. а) общий вид диаграммы; б)-д) – фрагмент, близкий к начальным значениям, показывающий остаточные деформации. Номера образцов: 1 – метод нагнетания, смола ЭД-20, 6 атм, 15 с.; 4 – метод нагнетания, смола ЭД-20, 6 атм, 120 с.; 39 – метод нагнетания, смола ЭД-22, 3 атм., 15 с.; 42 – метод нагнетания, смола ЭА-22, 3 атм, 120 с.; 77 – классическая установка Sormat kbt 6

Результаты испытания анкерных креплений, установленных в газобетонные блоки марки D400 по различным технологиям

Далее рассмотрим характер разрушения (см. таблицу 24) и значения несущей способности (см. таблицу 25) анкерных креплений, установленных в газобетонные блоки методом нагнетания. Видно, что схема разрушения анкерного крепления при устройстве в газобетонный блок марки D400 аналогична схеме разрушения при устройстве в газобетонный блок марки D300.

Таблица 24 – Испытанные образцы с использованием модернизированного дюбеля Sormat kbt 6, установленные методом нагнетания в газобетонные блоки марки D400

Базовое основание, примечание	Виды образца сверху	Вид конуса отрыва
1	2	3
<p>400-ПМ-3 Образцы: 55,56,57</p>		
<p>400-ЭД22-3 Образцы: 43,44,45,46</p>		

Продолжение таблицы 24

Базовое основание, примечание	Виды образца сверху	Вид конуса отрыва
400-ЭД22-6 Образцы: 30, 32,33,34		

Графики, отражающие значение несущей способности от технологических параметров построены на основании данных таблицы 25.

Таблица 25 – Значения несущей способности анкерных креплений в зависимости от различных технологических параметров

Время, с	Несущая способность, режим 400-ПМ-3, Н	Несущая способность, режим 400-ЭД22-3, Н	Несущая способность, режим №400-ЭД22-6, Н	Несущая способность, режим 400-kbt, Н
1	2	3	4	5
15	1586	2076	2221	1123
30	1560	2277	2149	1123
60	1442	2490	2338	1123
120	-	2680	2297	1123

Как видно на фотографиях из таблицы 25, разрушение образцов происходит по всей лицевой поверхности, причем грани конуса отрыва выходят за пределы лицевой поверхности, что может служить предпосылкой к сокращению глубины анкеровки дюбеля ввиду того, что газобетонные блоки больших габаритов в промышленном масштабе не выпускаются.

Кроме того, также при разрушении образца с использованием полимочевинной композиций наблюдается такой же характер разрушения, как при установке газобетонные блоки марки D300.

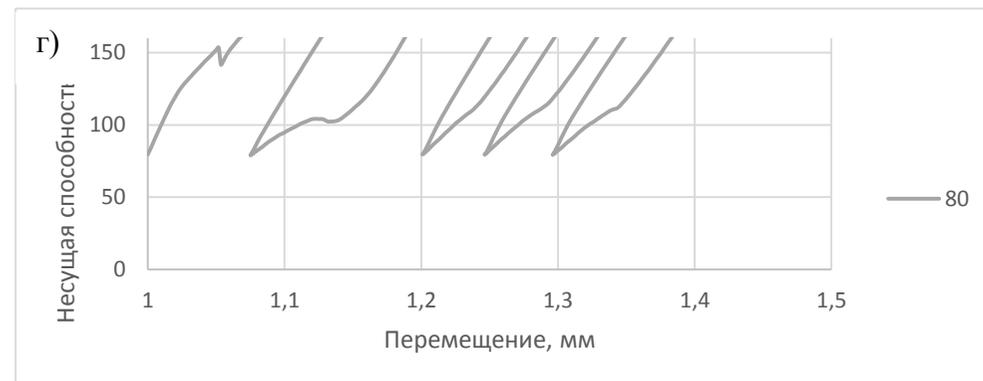
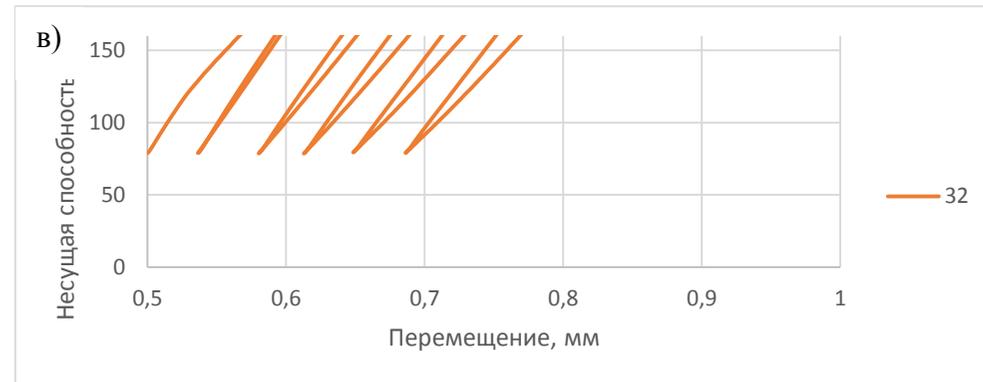
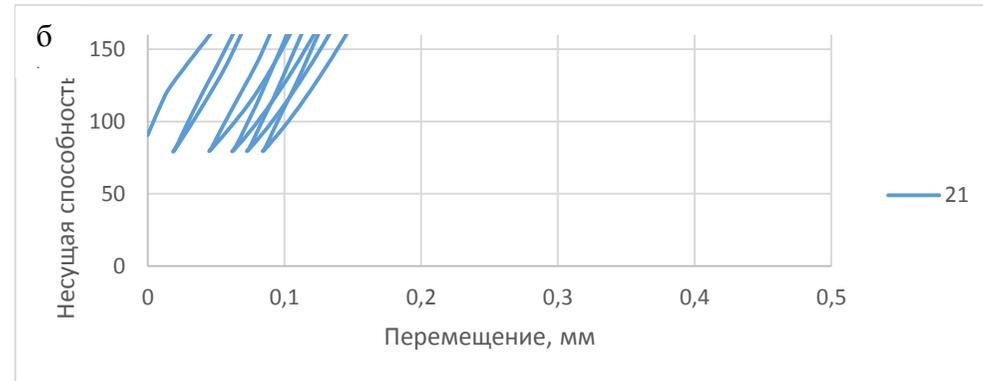
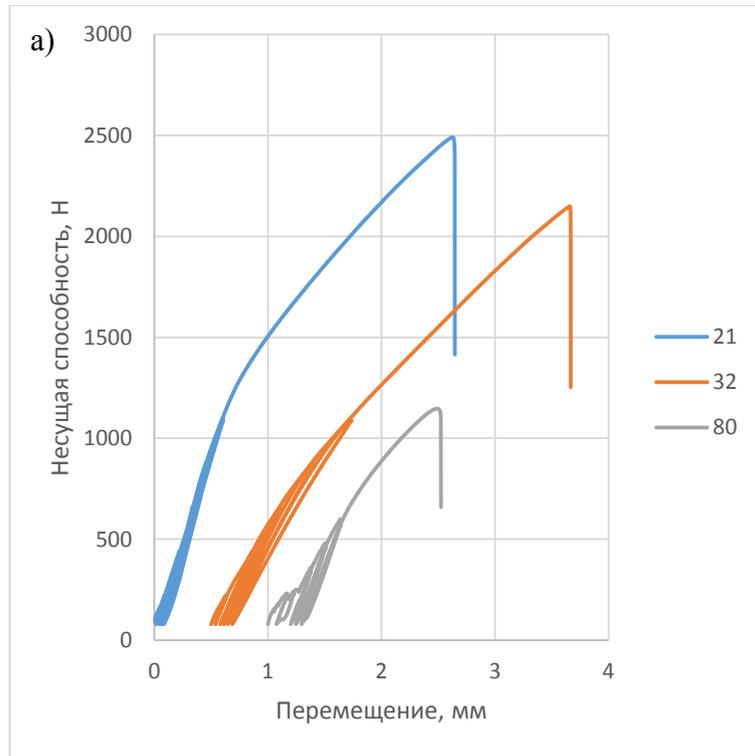


Рисунок 37 – Диаграммы нагрузка-перемещение анкерных креплений, установленных в газобетон марки D400 различными способами. а) общий вид диаграммы; б)-д) – фрагмент, близкий к начальным значениям, показывающий остаточные деформации. Номера образцов: 21 – метод нагнетания, смола ЭД-22, 3 атм., 60 с; 32 – метод нагнетания, смола ЭД-22, 6 атм., 60 с; 80 – классическая установка Sormat kbt 6

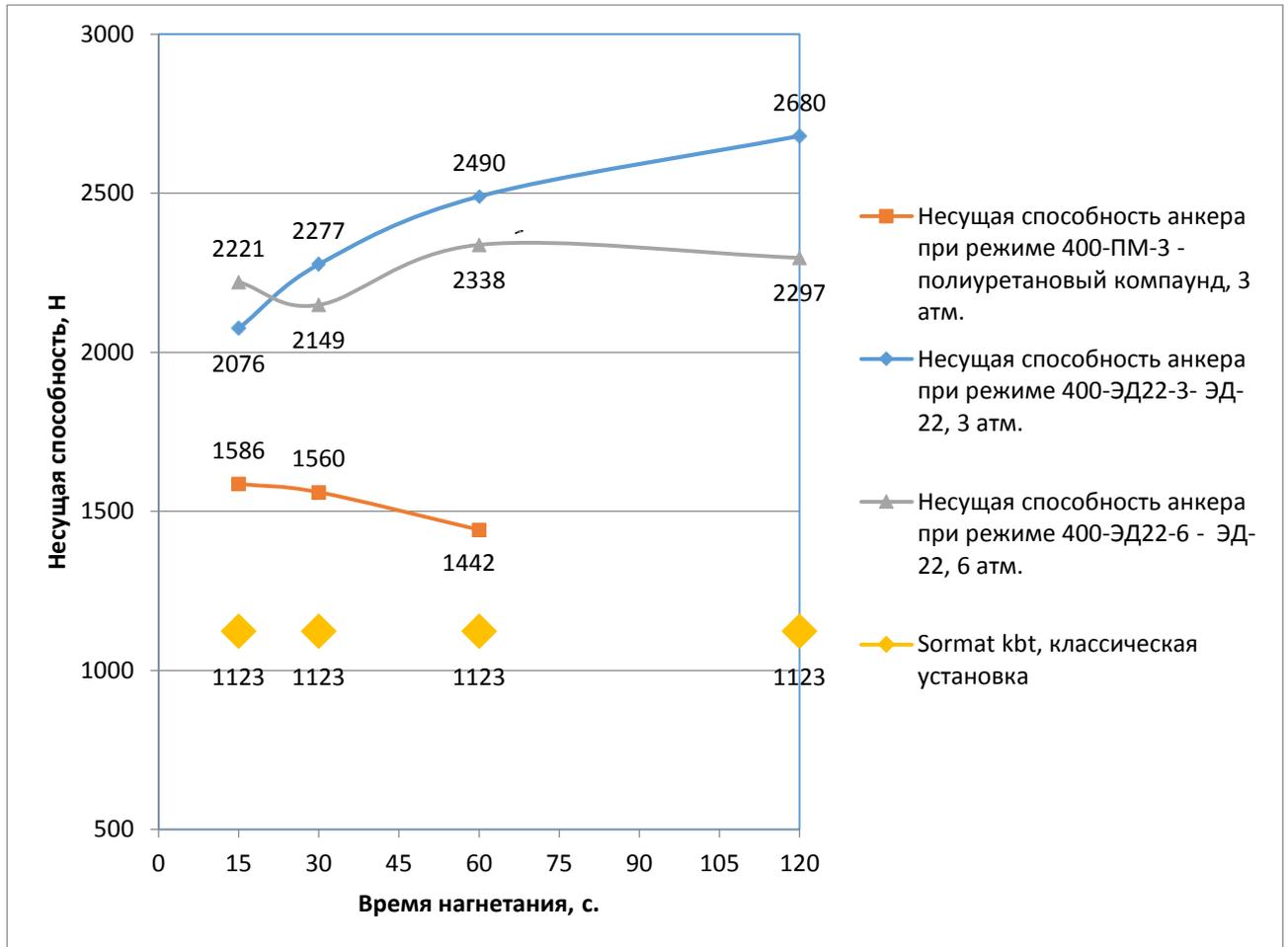


Рисунок 38 – Зависимость несущей способности от времени нагнетания в газобетонные блоки марки D400

Зависимости несущей способности анкера от времени нагнетания могут быть аппроксимированы следующей аналитической зависимостью:

$$y = ae^{\frac{b}{x}}, \quad (19)$$

Таблица 26 – Значения эмпирических коэффициентов, полученных в ходе аппроксимации по основным технологическим режимам

Шифр режима:	Значения коэффициентов
1	2
400-ЭД22-3	$a = 2.71116195334E+003$; $b = -4.30596052237E+000$ Стандартное отклонение: 77.8145621; К-т корреляции: 0.9700315

Как показано на рисунке 37, 38, повышение несущей способности анкерного крепления по отношению к анкерам, установленным по классической технологии (без нагнетания клеевой композиции), составляет 100-200 %.

Результаты испытания анкерных креплений, установленных в газобетонные блоки марки D500 по различным технологиям

Схема разрушения анкерных креплений аналогична разрешению анкерных креплений, установленных методом нагнетания в газобетонные блоки меньшей прочности.

Стоит отметить, что максимальное значение несущей способности анкерного крепления достигается при использовании клеевой композиции на основе эпоксидной смолы ЭД-22 при избыточном давлении 6 атм. и времени нагнетания 60 с (см. таблицу 27, рисунок 40).

Таблица 27 – Значения несущей способности анкерных креплений в зависимости от различных технологических параметров

Время, с	Несущая способность, режим 500-ЭД22-3, Н	Несущая способность режим 500-ЭД22-6, Н	Несущая способность 500-kbt, Н
1	2	3	4
15	3442	3648	1558
30	3394	3750	1558
60	3196	3829	1558
120	3079	3420	1558

При использовании клеевой композиции наблюдаются незначительные остаточные деформации (см. рисунок 39), и в качестве расчетной нагрузки может быть принята нагрузка в 50% от значения несущей способности.

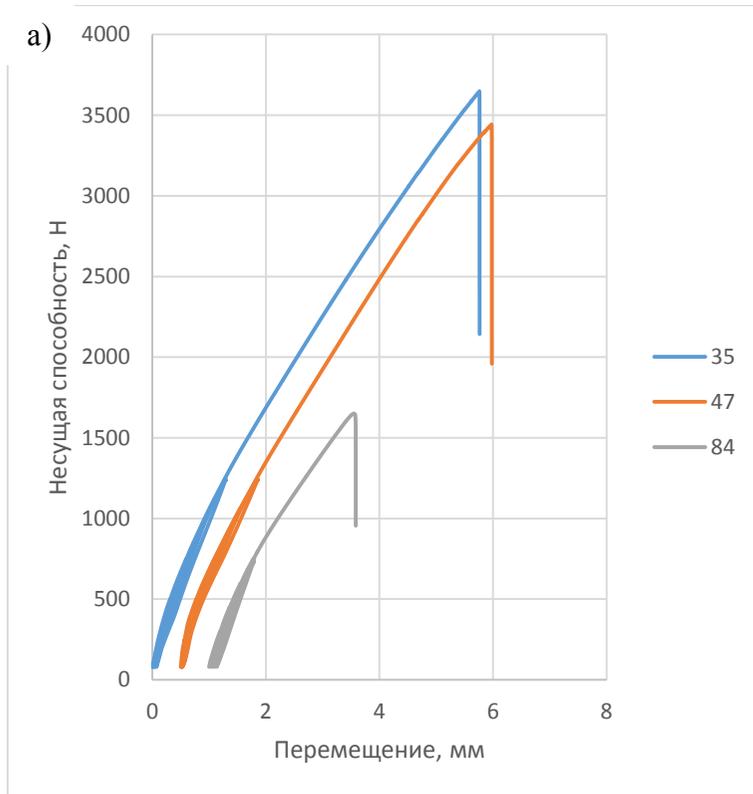
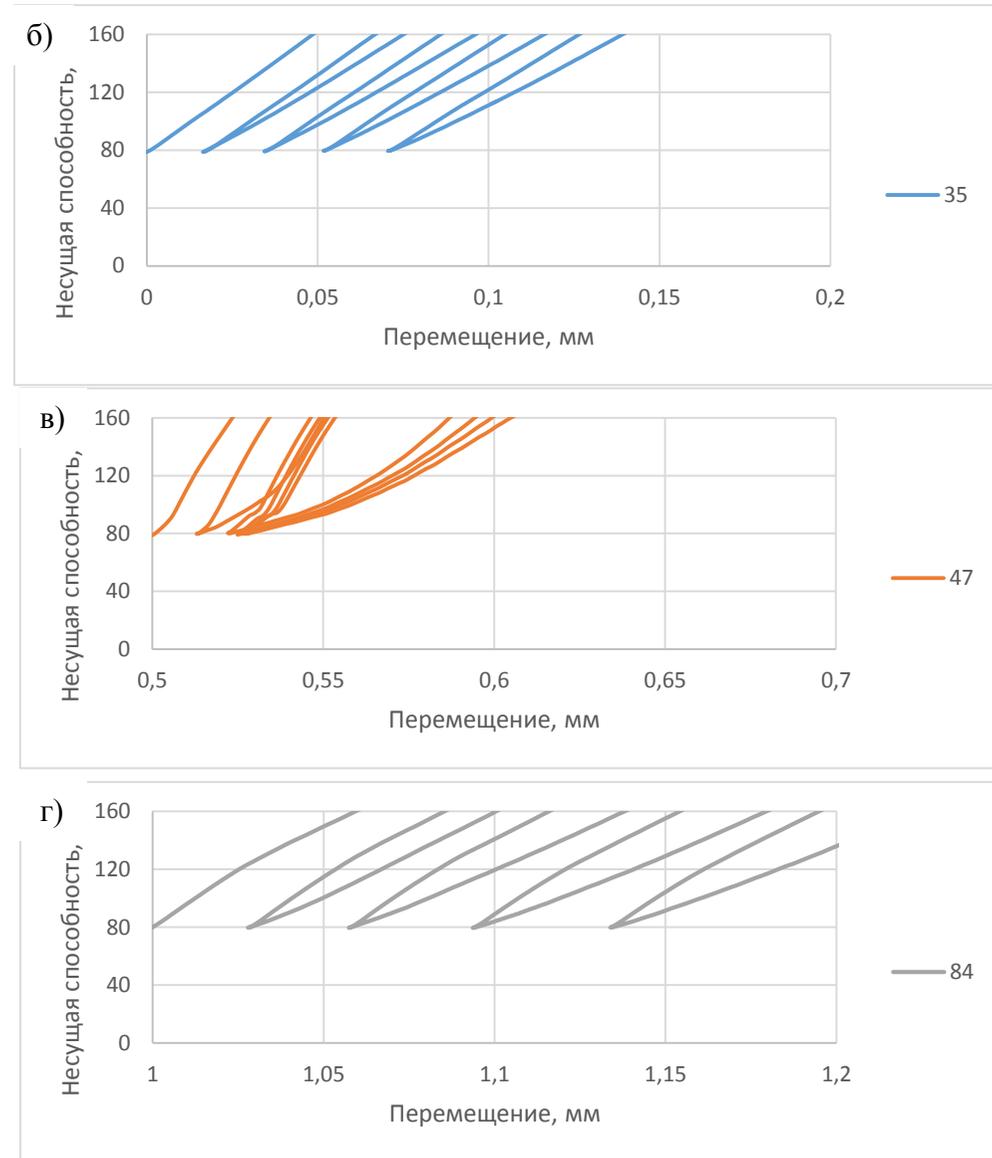


Рисунок 39 – Диаграммы нагрузка-перемещение анкерных креплений, установленных в газобетон марки D400 различными способами. а) общий вид диаграммы; б)-д) – фрагмент, близкий к начальным значениям, показывающий остаточные деформации. Номера образцов: 21 – метод нагнетания, смола ЭД-22, 3 атм., 60 с; 32 – метод нагнетания, смола ЭД-22, 6 атм. 60 с; 80 – классическая установка Sormat kbt 6



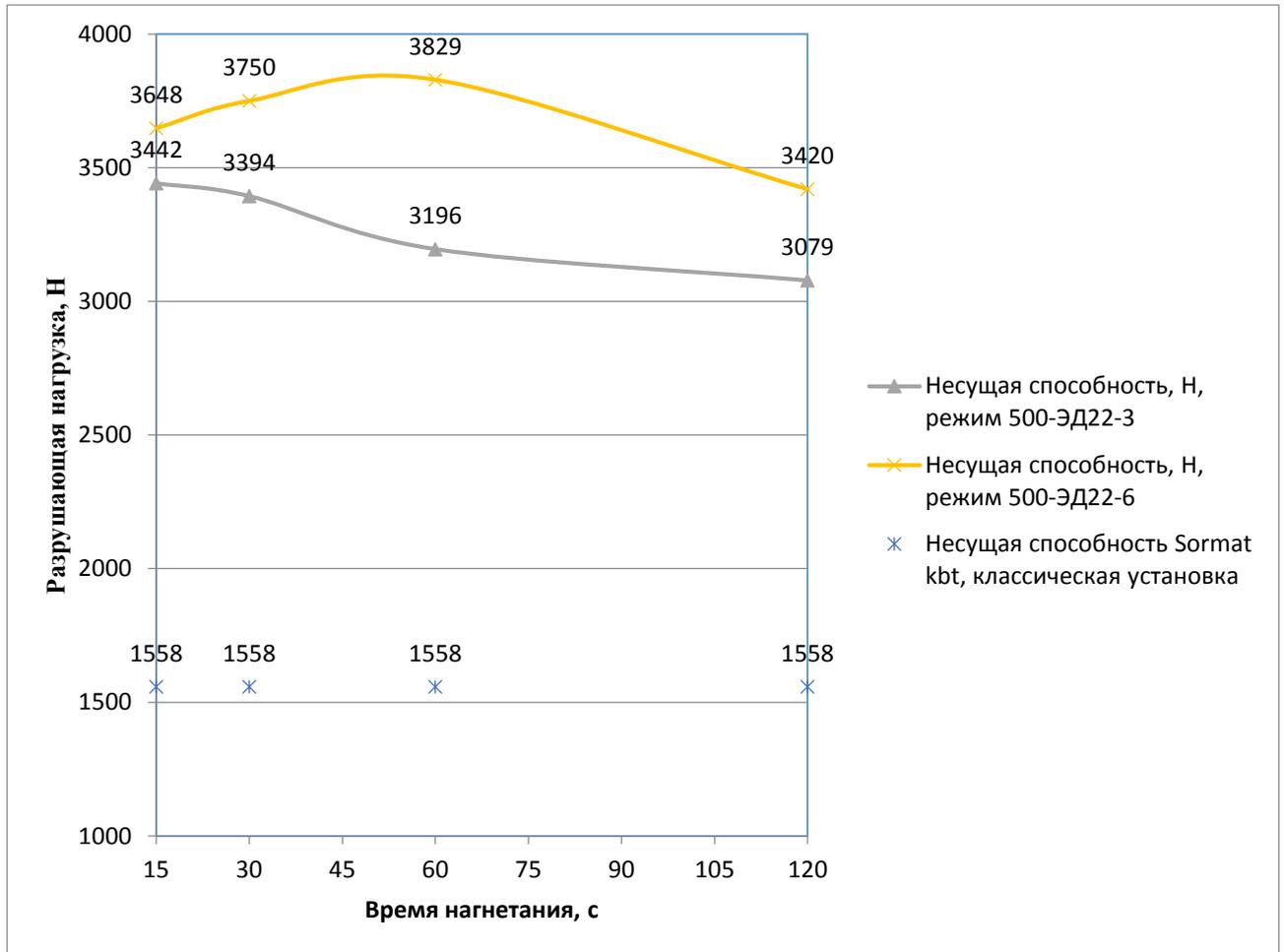


Рисунок 40 – Зависимость разрушающей нагрузки от времени нагнетания в газобетонные блоки марки D500

Зависимости несущей способности анкера от времени нагнетания могут быть аппроксимированы следующей аналитической зависимостью (см. таблицу 28):

$$y = e^{a + \frac{b}{x} + c \ln x}, \quad (20)$$

где a , b , c – эмпирические коэффициенты, для основных технологических параметров значения коэффициентов приведены в таблице 28.

Таблица 28 – Значения эмпирических коэффициентов, полученных в ходе аппроксимации по основным технологическим режимам

Шифр режима:	Значения коэффициентов
1	2
500-ЭД22-3	$a = 8.46293243889E+000$; $b = -1.14986945839E+000$; $c = -8.88762322408E-002$; Стандартное отклонение: 44.0652266 К-т корреляции: 0.9887355

Таблица 29 – Зависимость несущей способности анкерных креплений в зависимости от параметров нагнетания

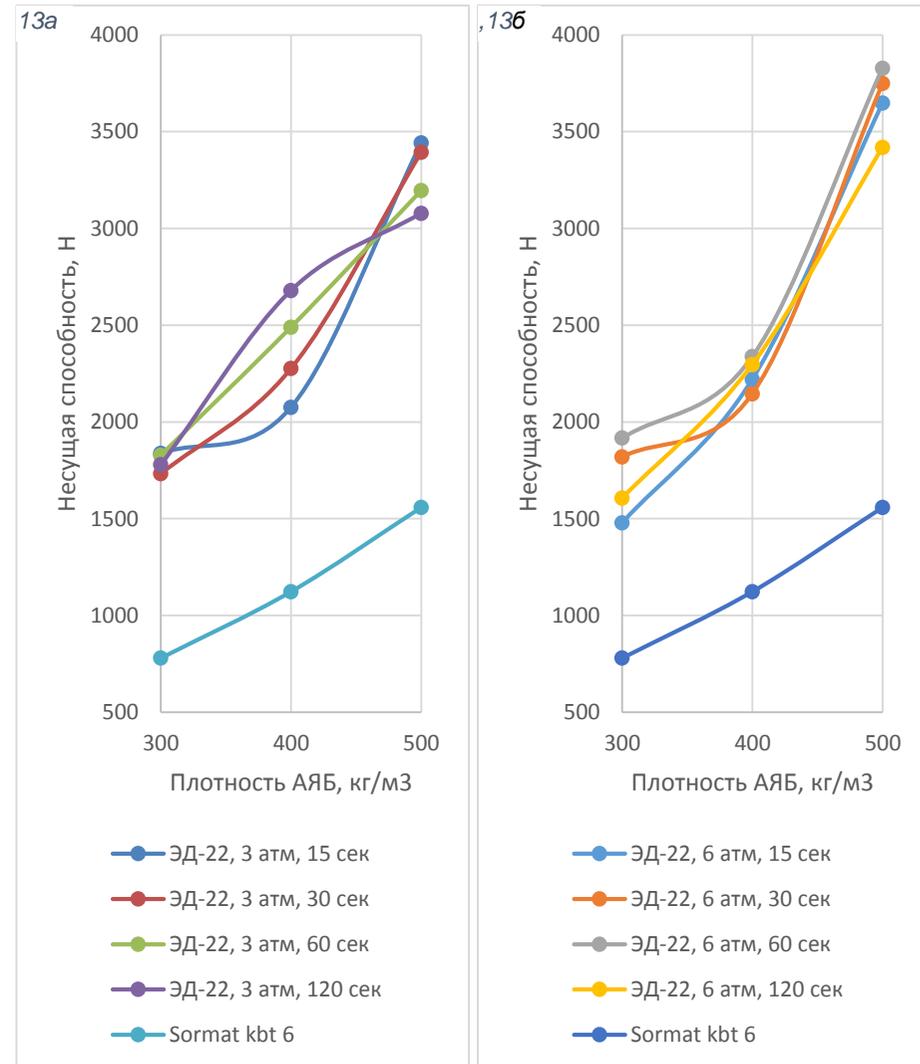
Плотность АЯБ, кг/м ³	Время нагнетания, с				<i>Sormat kbt 6</i>
	15	30	60	120	
1	2	3	4	5	6
ЭД-22, 3 атм.					
300	1838	1733	1828	1779	780
400	2076	2277	2490	2680	1123
500	3442	3394	3196	3079	1558
ЭД-22, 6 атм.					
300	1479	1820	1917	1607	780
400	2221	2146	2338	2297	1123
500	3648	3750	3829	3420	1558

Рисунок 41 – Зависимость несущей способности анкерного крепления от плотности автоклавного ячеистого бетона

а) - показаны зависимости для режима нагнетания с избыточным давлением 3 атм.

б) - показаны зависимости для режима нагнетания с избыточным давлением 6 атм.

Примечание. Номера образцов опущены



Сравнительный анализ технологических параметров нагнетания

Как видно на рисунке 41, при низких плотностях газобетона повышение давления нагнетания не влияет на повышение несущей способности, а даже имеет отрицательный эффект, что может быть связано с разрушением скелета газобетона в зоне, прилегающей к зоне пропитки клеевой композицией.

Дополнительно, при нагнетании клеевой композиции при 3 атм. (см. рисунок 41а) повышение несущей способности при использовании метода нагнетания идет фактически линейно и параллельно повышению несущей способности анкерного крепления, установленного по классической технологии. Оптимальное время нагнетания составляет 15 с.

Однако, при нагнетании при избыточном давлении 6 атм. несущая способность возрастает (см. рисунок 41б). Абсолютное значение несущей способности при установке анкерного крепления в газобетонные блоки марки D300 немного ниже (в пределах погрешности изменений) при избыточном давлении 6 атм., чем при использовании избыточного давления 3 атм. Но ситуация обратна при установке анкерных креплений в газобетонные блоки марки D500, и значение несущей способности выше на 12,2%.

Необходимо подчеркнуть, что ввиду разрушения по всей лицевой поверхности газобетонного блока, технологические пазы ручного захвата блока при его укладке (см. рисунок 26), как отмечалось выше, влияют на значение несущей способности ввиду уменьшения рабочего сечения газобетонного блока. Время нагнетания имеет незначительный вклад в формирование значения несущей способности (5-7%), ввиду чего, принимая требование сокращения трудозатрат, нагнетание целесообразно производить минимальное время – 15 с.

Кроме того, при всех величинах длительности нагнетания повышение избыточного давления даёт снижение несущей способности от 12 до 15%, за исключением установки анкерных креплений в газобетонные блоки марки D500. (см. рисунок 42а-г).

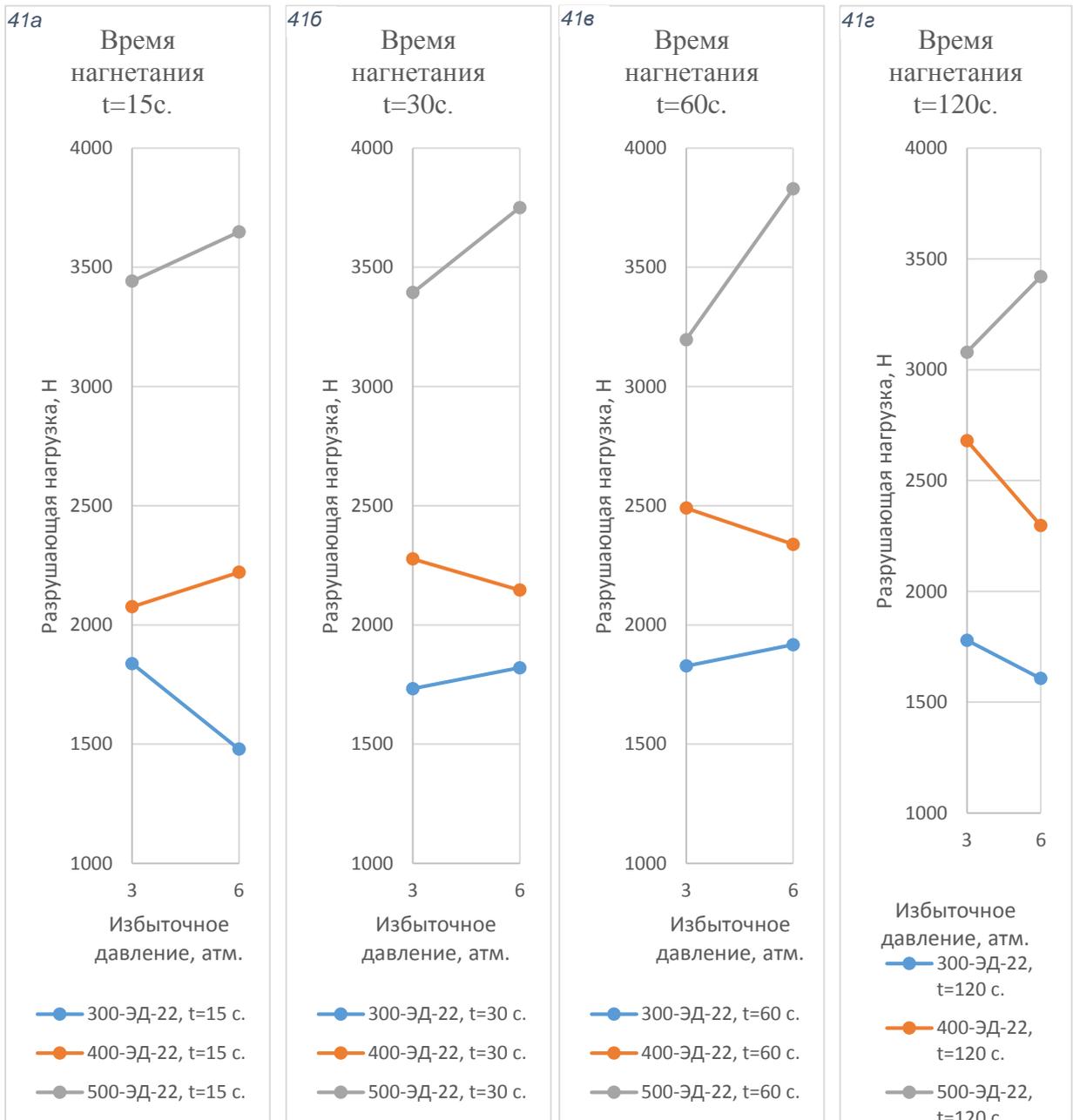


Рисунок 42 – Зависимость несущей способности анкерного крепления от изменения избыточного давления. а) зависимости для режима нагнетания в течение 15 с; б) – в течение 30 с; в) – в течение 60 с; г) – в течение 120 с; По результатам проведенного анализа выявлены оптимальные технологические режимы (см. таблицу 30).

Таблица 30 – Оптимальные технологические режимы, обеспечивающие максимальное значение несущей способности

Марка газобетона	Клеевая композиция	Значение избыточного давления, атм.	Время нагнетания
1	2	3	4
D300	эпоксидно-диановая смола ЭД-22, отвердитель ХТ-1186	3	15
D400	эпоксидно-диановая смола ЭД-22, отвердитель ХТ-1186	3	15
D500	эпоксидно-диановая смола ЭД-22, отвердитель ХТ-1186	6	60

Характер разрушения образцов

Проекции конусов отрыва приведены на рисунке 43, данные проекции построены на основе испытанных образцов. Как видно на указанных схемах, при установке анкерного крепления по классической технологии конус отрыва меньше, чем при устройстве методом нагнетания. Кроме того, стоит отметить, что анкерные крепления, устроенные методом нагнетания, включаются в работу сразу после приложения нагрузки и по всей длине анкера.

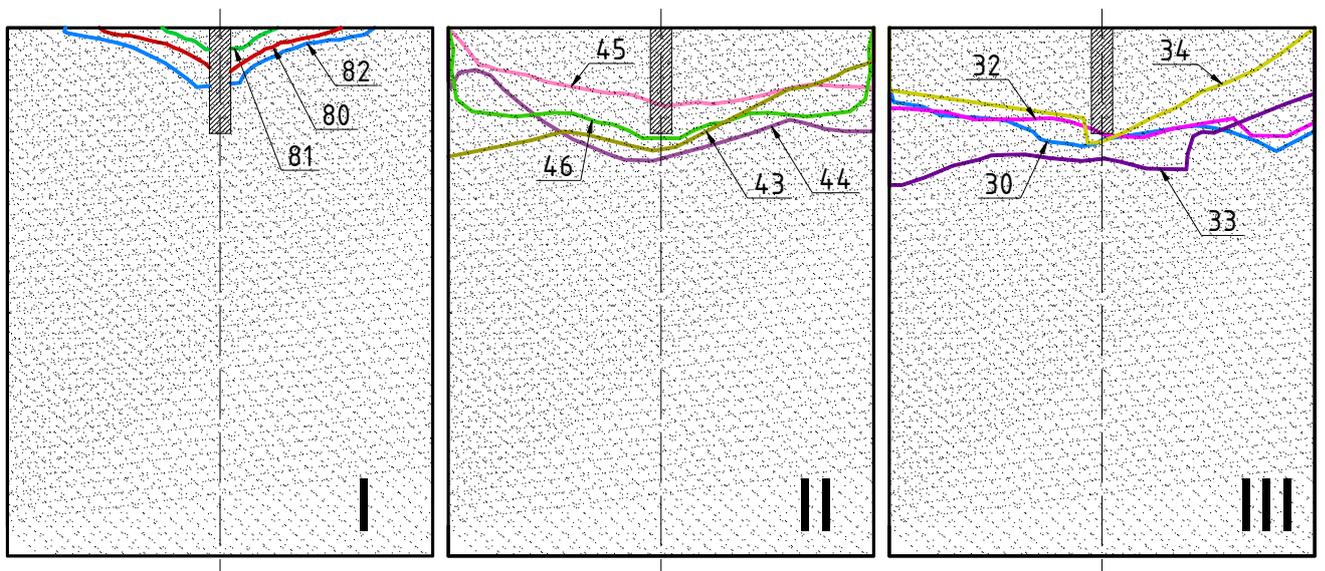


Рисунок 43 – Режим I - D400-Sormat kbt 6 (установка по классической технологии, без нагнетания клеевой композиции), Режим II - D400-ЭД22-3 атм., Режим III - D400-ЭД22-6 атм.

Анализ конусов отрыва показывает, что конус отрыва выходит за грани элемента (см. рисунке 42 – II, III), что свидетельствует о возможности снижения глубины анкеровки.

Оценка глубины проникновения клеевой композиции произведена после установки анкера и его опытного распила болгаркой. После изготовления шлифов и выполнены фотографии высокого разрешения на микроскопе *Levenguk C-series* в масштабах от $x10$ до $x40$. Данные фотографии позволяют установить количество макропор, заполненных клеевой композицией после её нагнетания в базовый поризованный материал (см. рисунок 44, 45).

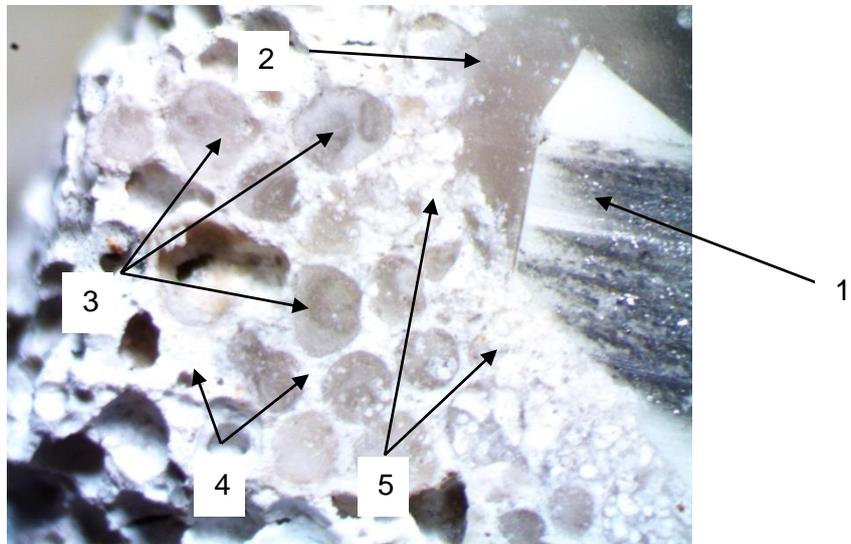


Рисунок 44 – Фотофиксация шлифа газобетонного блока марки D300 с установленным анкерным креплением: 1 – полимерный дюбель; 2 – клеевая композиция в зазоре между дюбелем и газобетонным блоком; 3 – клеевая композиция в макропорах газобетона; 4 – твердая фаза газобетона; 5 – пыль и разрушенный газобетон, образовавшийся при сверлении

Автором вычислена геометрическим путём площадь сечения клеевой композиции, попадающей в поперечный шлиф распиленного анкера. Данный метод имеет ограниченную область применения и может быть использован для качественной оценки глубины проникновения клеевой композиции в базовый материал.

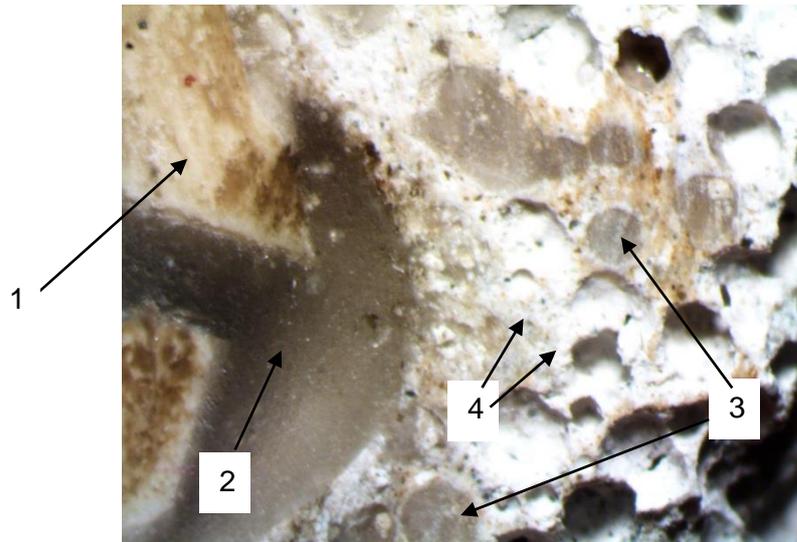


Рисунок 45 – Фотофиксация шлифа газобетонного блока марки D500 с установленным анкерным креплением: 1 – полимерный дюбель; 2 – клеевая композиция в зазоре между дюбелем и газобетонным блоком; 3 – клеевая композиция в макропорах газобетона; 4 – твердая фаза газобетона

Ниже приведен ряд факторов, ограничивающих область применения данного подхода:

- 1) При разрезании болгаркой анкера поперек затруднена оценка месторасположения сечения;
- 2) В сечение попадает навивка дюбеля и, как видно из рисунка 44, глубина проникновения клеевой композиции от тела и навивки дюбеля близка по количественному значению;
- 3) Имеется вероятность, что саморез мог быть смещен при распиливании болгаркой и был внецентренно закручен при устройстве анкера;
- 4) При разрушении образца затруднительно установить, что разрушение произошло по границе клеевой композиции и газобетона, либо граница разрушения сместилась в пропитанную приконтактную зону;
- 5) Клеевая композиция низких вязкостей (ЭД-22) в низкоплотных газобетонах D300 имеет большой фронт распространения ввиду пропитки скелета газобетона (см. рисунок 46). Явление пропитки однозначно в газобетонах D400 и D500 установить автору не удалось ввиду использования микроскопа небольших до $\times 80$ приближений.

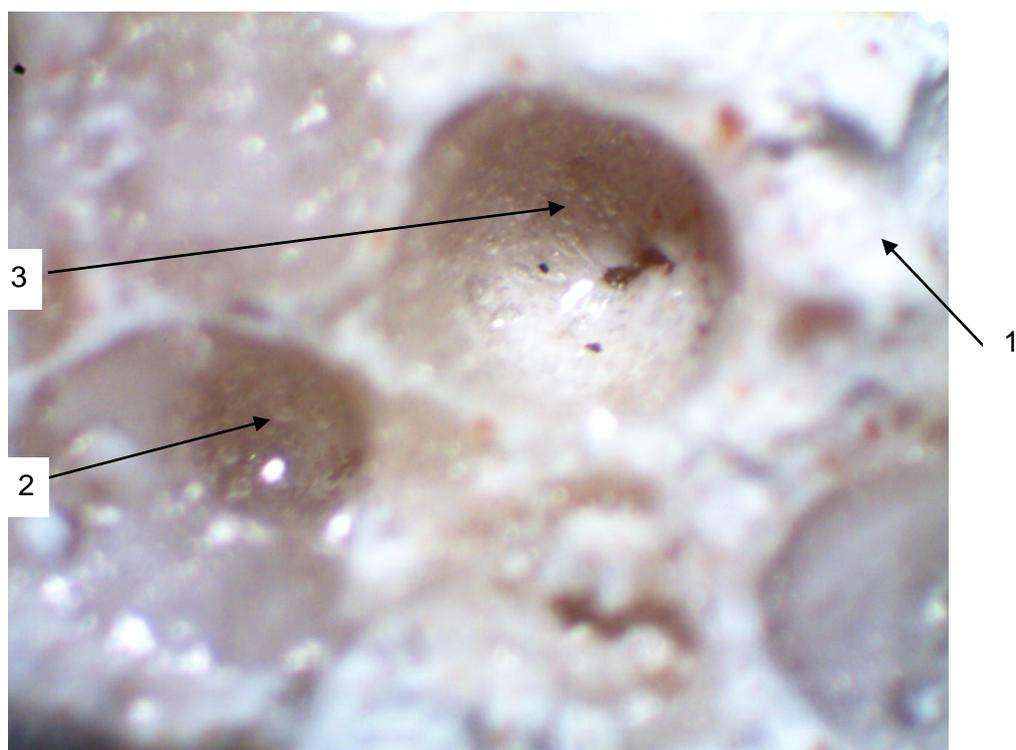


Рисунок 46 – Микрофотография газобетона марки D300 с увеличением $\times 40$: 1 – скелет газобетона; 2 – пора, наполненная клеевой композицией после установки анкерного крепления; 3 – выход клея на задней стенке закрытой поры газобетона

Сравнение полученных результатов стендовых испытаний и ранее выполненных исследований

Работа комбинированного химического анкера (см. перечень терминов) под действием продольной нагрузки на вырыв освещена в работа [25]. В указанном отчете приведены зависимости нагрузка-деформация на различные виды анкерных креплений, установленных в газобетонные блоки марки D500 различной влажности.

Методика испытания анкерных креплений на вырыв близка по сущности к методике, проведённой автором в настоящей работе.

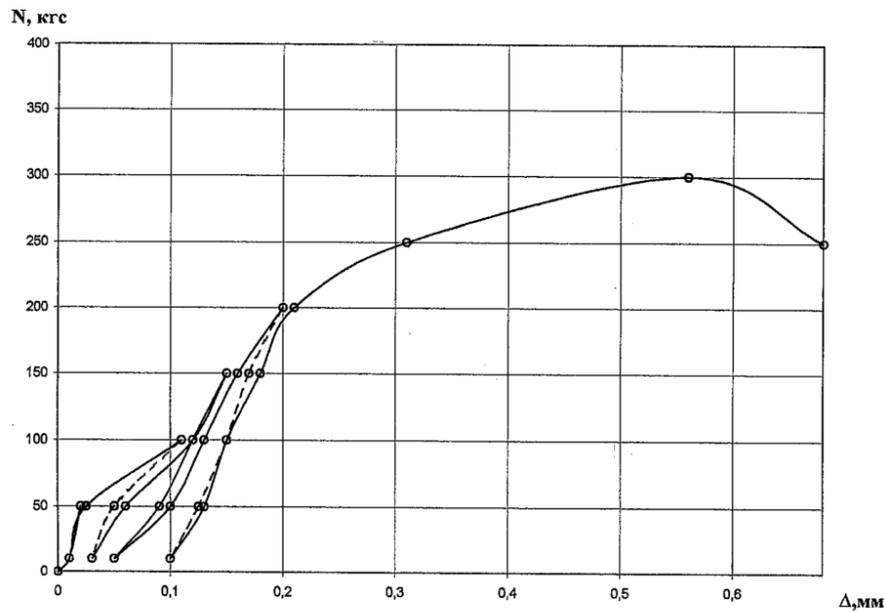


Рис. 38 . График зависимости "нагрузка-деформация"

Рисунок 47 – Испытание комбинированного анкера с дюбелем SORMAT KBT8 + клеевой состав ITN 380 в газобетонном блоке плотностью 490 кг/м^3 и влажностью 5-7%.

Полость дюбеля *Sormat kbt8* наполнялась клеевой композицией *ITN 380* без создания избыточного давления и затем в дюбель вворачивался саморез. Как видно на рисунке 47, повышения прочностных и деформативных характеристик анкерного крепления не наблюдается, и характер работы данного комбинированного анкера близок к работе анкера без использования клеевой композиции.

Следовательно, возможно заключить, что улучшение эксплуатационных характеристик анкерного крепления возможно только через нагнетание клеевой композиции в пористое пространство газобетона под действием избыточного давления.

Выводы по третьей главе:

1. Определен перечень стендовых испытаний, позволяющий проанализировать зависимость несущей способности от технологических параметров установки анкерных креплений методом нагнетания.

2. Подобрана промышленно распространённая клеевая композиция, наиболее подходящая для устройства анкерных креплений методом нагнетания, удовлетворяющая технологическим требованиям и требованиям по физико-техническим характеристикам. Клеевая композиция на базе эпоксидно-диановой смолы ЭД-22 с отвердителем ХТ-118б имеет низкую вязкость, высокую распространённость в промышленных масштабах, время жизни 3-5 ч после смешивания, легко очищается ацетоном до отверждения, имеет высокие физико-механические свойства, не дает усадку при затвердевании и нетоксична.

3. Разработан экспериментальный стенд, позволяющий регулировать необходимые технологические параметры.

4. Проанализирована ранее известная методика испытания анкерных креплений на вырыв, позволяющая определить фактическую упругую работу анкерного крепления и с минимальным запасом определить расчётную нагрузку на анкерное крепление.

5. Построены зависимости несущей способности анкерного крепления, установленного методом нагнетания, от технологических параметров плотности материала, вязкости клеевой композиции, значения избыточного давления нагнетания, времени нагнетания.

6. Определены оптимальные технологические режимы устройства анкерных креплений в газобетонные основания различной плотности.

ГЛАВА 4. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ КРЕПЛЕНИЯ АНКЕРНЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ НАГНЕТАНИЯ И ЕЁ ТЕХНИКО- ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

4.1 Особенности технологии устройства анкерных креплений методом нагнетания

В связи с увеличением доли пористых материалов в домостроении имеется необходимость крепления на них других строительных конструкций и инженерных систем. Типы анкеров, установка которых возможна в газобетонные и поризованные основания, приведены в таблице 31.

Таблица 31 – Перечень технологических операций при устройстве анкеров в газобетонные блоки

Тип ПСК // Технологические операции	Разметка	Устройство отверстия	Прочистка	Продувка	Промывка	Повторная продувка	Установка дюбеля (анкреа)	Наполнение отверстия связующим раствором	Нагнетание связующего раствора в отверстие	Установка шпильки/самореза	Установка ПСК	Технологическое ожидание	Фиксация ПСК	Количество операций
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Анкер-шуруп	•	•	•	•		•					•		•	7
Полимерный анкер-трения	•	•	•	•		•	•			•			•	8
Дюбель-гвоздь	•	•	•	•		•					•		•	6
Анкер раскрывающийся (HPD)	•	•					•						•	4
Химический анкер	•	•	•	•	•	•		•		•		•	•	10
Химический анкер с конусным сверлом	•	•	•	•		•		•		•		•	•	11
Химический анкер с дюбелем и нагнетанием связующей массы	•	•	•	•		•	•		•	•		•	•	11

В качестве особенностей газобетона при проектировании анкерных креплений необходимо отметить:

- материал подвержен хрупкому разрушению и имеет низкую прочность на локальное сжатие (смятие);
- материал в значительной степени образует концентраторы напряжений;
- газобетон имеет высокий, по сравнению с обычными бетонами, градиент миграции влаги;
- наблюдается изменение деформационных характеристик базового материала под нагрузкой с течением времени.

К особенностям устройства анкеров в принципе на базовые пористые основания возможно отнести:

- отсутствие четких рекомендаций по способу устройства отверстий под анкерные крепления. Автору неизвестны отечественные рекомендации по устройству отверстий в АЯБ и других пористых материалах; недостаток нормативной базы для прочностных и деформационных расчетов на различные комбинации нагрузок;
- отсутствие ясных рекомендаций по расположению анкеров в стеновой конструкции. В отечественной нормативно-технической литературе не приведены зависимости краевых расстояний от нагрузок, воспринимаемых анкером и технологии его устройства;
- отсутствие статистики [10] по дефектам монтажа – перетягивание, наклон оси и пр.

В целом, усовершенствованная технология устройства анкерных креплений позволяет применять унифицированные и типизированные строительные конструкции навесного фасада и узлов их крепления к ограждающим конструкциям (см. рисунок 48 а, б). Технология устройства анкера не оказывает влияние на конструкцию узла крепления и конструкцию кронштейна. Вариант узла сопряжения с использованием анкера, установленного методом нагнетания приведен на рисунке 49.

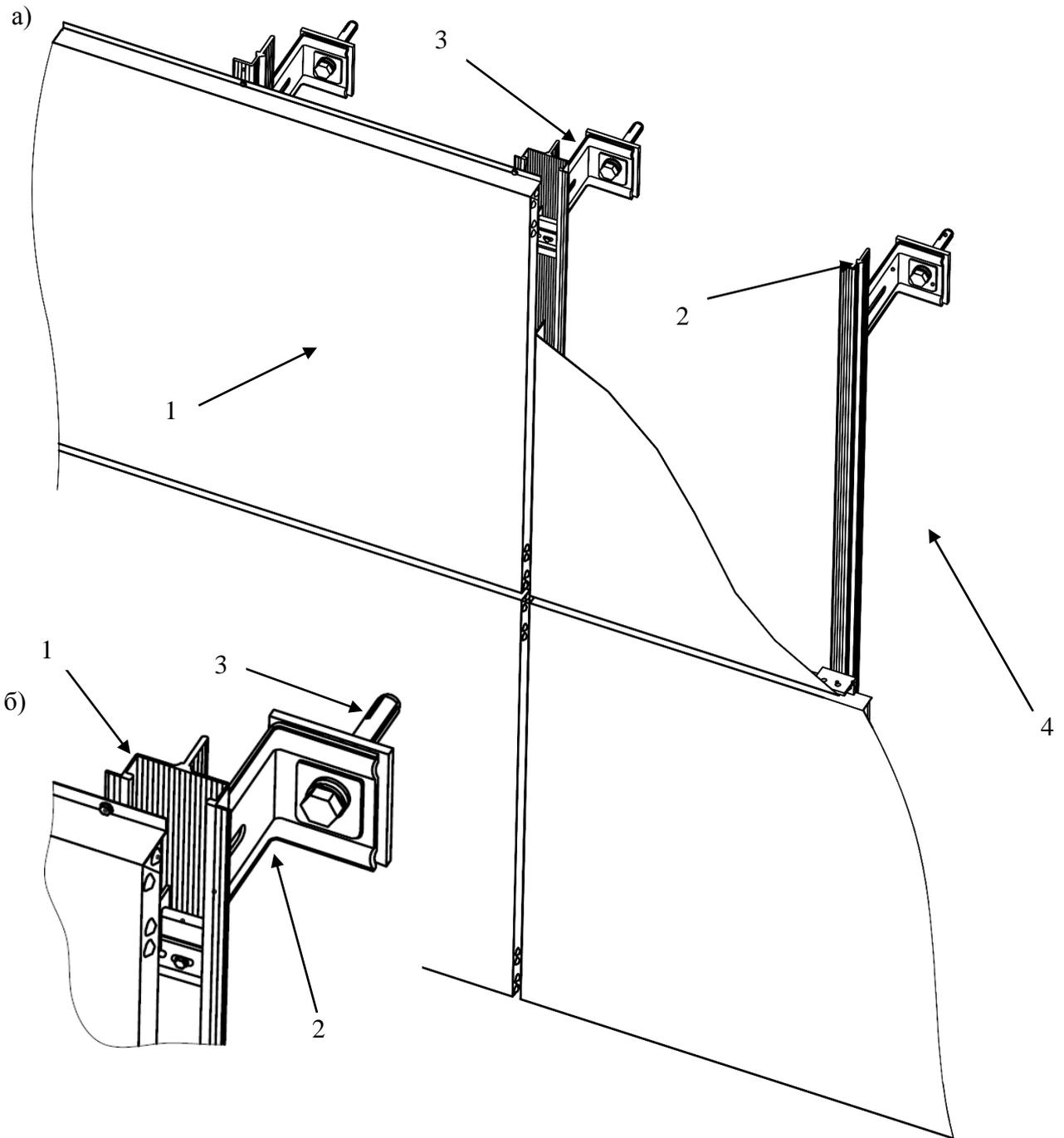


Рисунок 48а – Общий вид конструкции навесного вентилируемого фасада. 1 – навесные панели (кассеты); 2 – ограждающая конструкция (не показана); 3 – узел крепления; 4 – вертикальная направляющая;

Рисунок 48б – Общий вид узла крепления. 1 – вертикальная направляющая; 2 – кронштейн (опорный); 3 – анкер

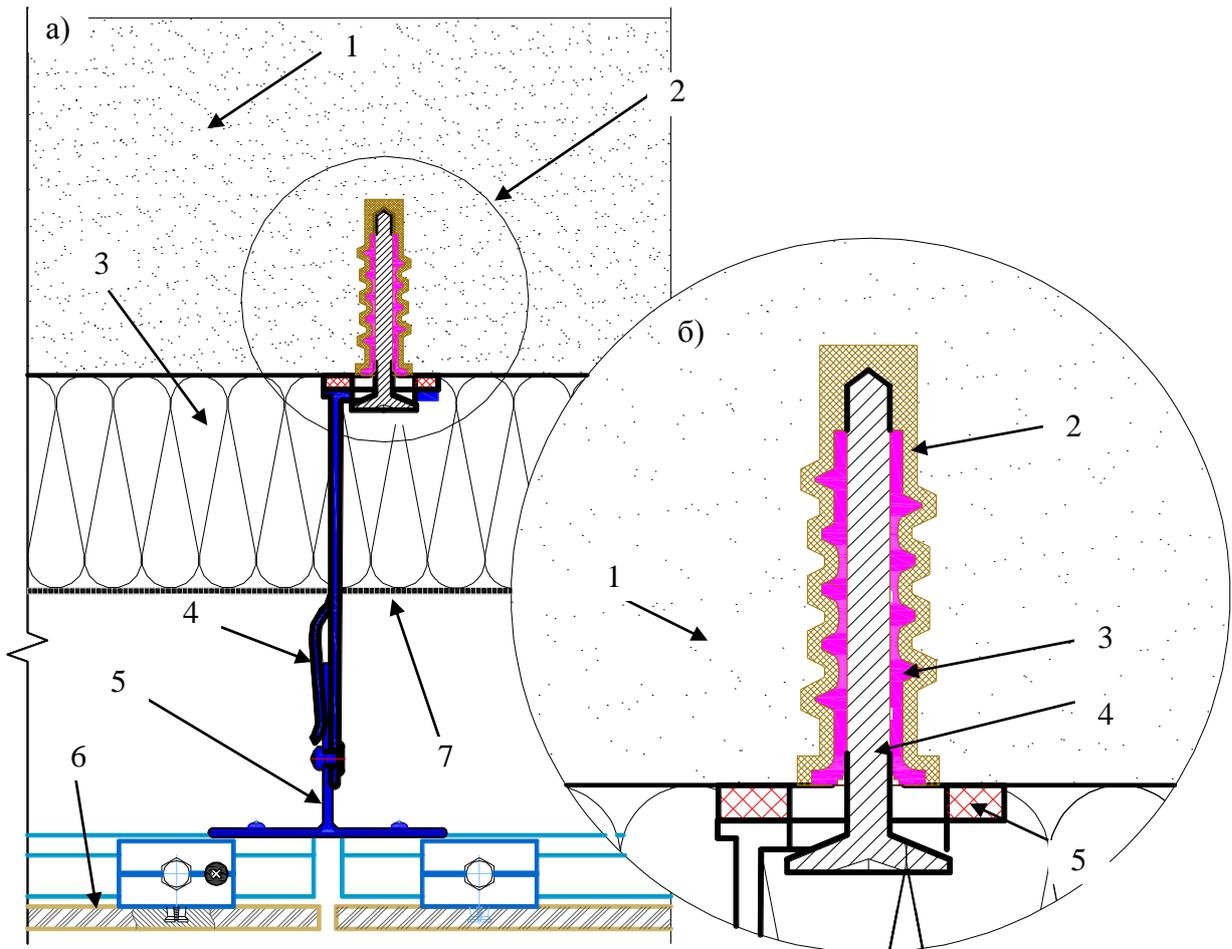


Рисунок 49 – Принципиальный узел крепления НВФ на ограждающую конструкцию и газобетонные блоки с помощью усовершенствованного анкерного крепления.

а) горизонтальный разрез. 1 – газобетонное основание; 2 – узел сопряжения кронштейна с ограждающей конструкцией; 3 – утеплитель; 4 – кронштейн; 5 – вертикальная направляющая; 6 – навесные панели (кассеты); 7 – ветрозащитная мембрана;

б) узел сопряжения кронштейна с ограждающей конструкцией (увеличено); 1 – газобетонное основание; 2 – пропитанная клеевой композицией приконтактная зона дюбель-газобетон; 3 – дюбель; 4 – шуруп или саморез; 5 – резиновая прокладка

Новая улучшенная технология устройства анкерных креплений способом нагнетания имеет ряд особенностей в отличие от известных:

- 1) Продувка может производиться нагнетательной установкой при переключении режимов подачи клеевой композиции;
- 2) Необходимо использование дюбелей специальной конструкции, которые имеют в основе конструкцию дюбелей, выпускаемых в промышленных масштабах;
- 3) *При проведении дополнительных исследований*, имеется возможность исключить операции по продувке и прочистке из технологического отверстия при монтаже анкеров методом нагнетания.

4.2 Техничко-экономическое обоснование применения новой улучшенной технологии

Новая улучшенная технология устройства анкерных креплений имеет перспективу получить распространение при использовании её при креплении ответственных несущих конструкций, таких как навесные вентилируемые фасады, на газобетонные основания.

Техничко-экономические показатели (ТЭП) и экономический эффект от внедрения новой улучшенной технологии произведен на основе расчета прямых затрат, не включающих лимитированные затраты (накладные расходы, сметная прибыль, зимнее удорожание и пр.).

За критерий оценки экономической эффективности приняты прямые затраты в соответствии с инструкцией по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительстве [86] и инструкцией по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений [85], согласно которым экономический эффект определяется по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = Z_1 - Z_2, \quad (21)$$

где Z_1 и Z_2 – приведенные затраты на единицу объема работ (продукции), выполняемых соответственно с применением базовой и новой технологии, руб.;

Снижение трудоемкости:

$$T=T_1 - T_2, \quad (22)$$

где T_i – трудоемкости производства работ соответствующих технологий.

Исходные данные для расчета ТЭП по различным вариантам технологии крепления НВФ

В качестве исходных данных для расчета прямых затрат, подлежащих сравнению, принят расчет крепления опорных кронштейнов вентилируемого фасада в Санкт-Петербурге.

Общие данные:

- 1) Район строительства г. Санкт-Петербург
- 2) Высота здания 75 м; эквивалентная высота здания $z_e = 75$ м.
- 3) Ветровой район III $W_0 = 38$ кгс/м² (Тип местности В);
- 4) Гололедный район III (толщина стенки гололеда с двух сторон по 10 мм;
- 5) Стена вновь возводимого здания – газобетонные блоки марки D500;
- 6) Каркас здания – монолитный;
- 7) Вылет подконструкции НВФ от стены здания – 230мм.
- 8) Высота этажа 3,0 м.

Принимаем для расчета конструктивную систему НВФ (см. рисунок 51) с использованием нижеприведённых конструктивных элементов:

1. Направляющие КПП – 60*44 (t=1.2мм), расположение вертикальное;
2. Кронштейны – ККУ-230 (t=1,2мм), расположение полкой вертикально;
3. Облицовка – линейные панели;
4. Анкерный дюбель:
 - 4.1. Вариант I – *Hitli HPD* (см. рисунок 50а);
 - 4.2. Вариант II – *Sormat kbt 6*;
 - 4.3. Вариант III – Химический анкер с конусным сверлом (см. рисунок 50б);
 - 4.4. Вариант IV – Модернизированный дюбель *Sormat kbt 6* с установкой методом нагнетания (см. разд. 2);



Рисунок 50 – Виды используемых дюбелей для экономического расчета: а) Вариант I – Hitli HPD, б) Вариант III – Химический анкер, устанавливаемый в конусное отверстие

Конструктивная система НВФ представлена на рисунке 51 и является наиболее распространенной [35, 72].

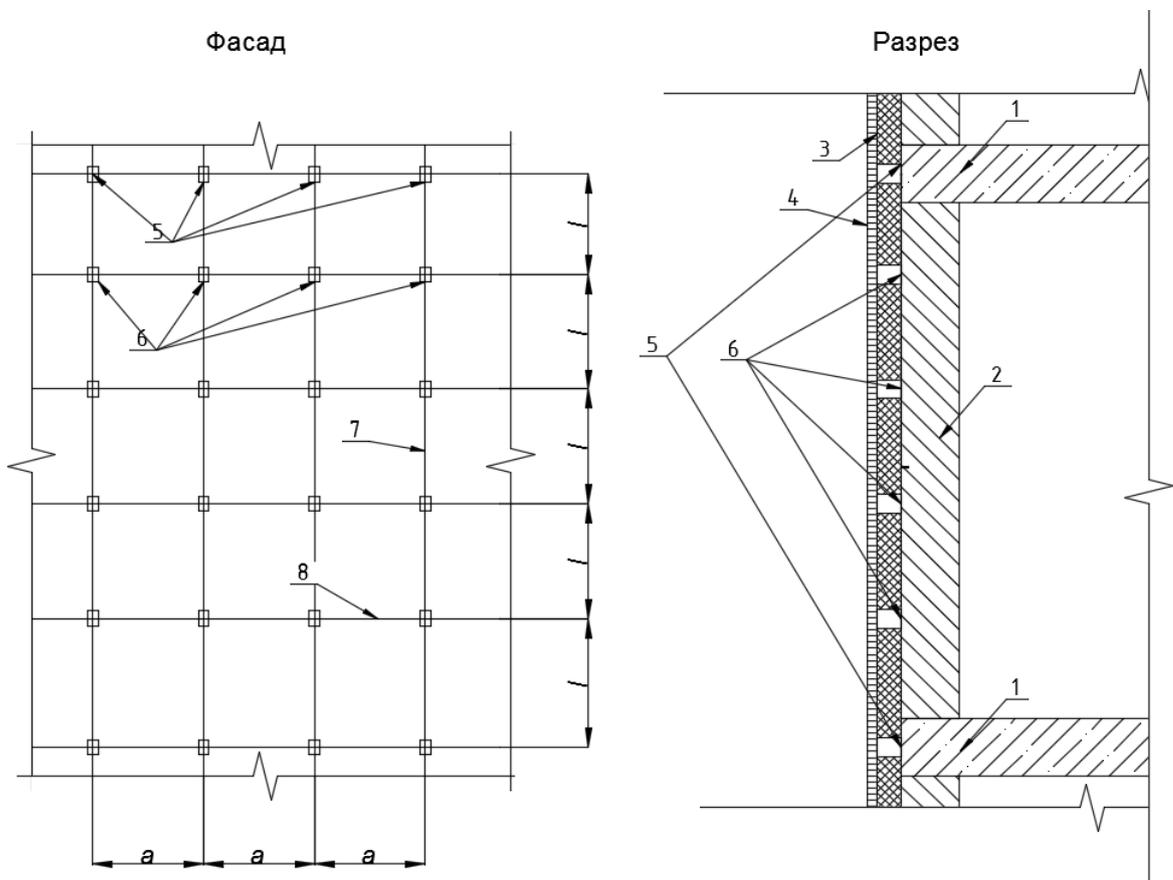


Рисунок 51 – Принципиальная конструкция навесного вентилируемого фасада.

1 – монолитное перекрытие; 2 - ограждающая конструкция (газобетонные блоки); 3 – жесткий утеплитель; 4 – линейные панели; 5 – несущий кронштейн; 6 – опорный кронштейн; 7 – вертикальный профиль; 8 – горизонтальный профиль

По результатам проведения расчетов по [6], имеем, что расчетная ветровая нагрузка составляет $w = 283 \text{ кгс/м}^2$.



Рисунок 52 – Пример ограждающей стеновой конструкции с использованием НВФ при креплении на межэтажное заполнение из газобетонных блоков (Фотография от 15.01.2016, г. Санкт-Петербург)

Как правило, вертикальная направляющая НВФ принимается пятипролётной шарнирно закрепленной балкой, а изменение грузовой площади НВФ корректируется за счет шага a между вертикальными направляющими (см. рис 51). В сущности, расчет НВФ сводится к определению предельной грузовой площади на узел, несущая способность которого является минимальным значением несущей способности самого кронштейна или несущей способности анкерного крепления. Затем грузовая площадь определяет расположение элементов каркаса НВФ с учетом требований к размещению вертикальных и горизонтальных несущих элементов.

Вертикальная нагрузка полностью передается на несущие кронштейны 5 (см. рисунок 51), а горизонтальная нагрузка передается в том числе на опорные кронштейны 6. В целях исключения передачи вертикальной составляющей на опорные кронштейны в них имеется овальное отверстие (см. рисунок 52, 53).

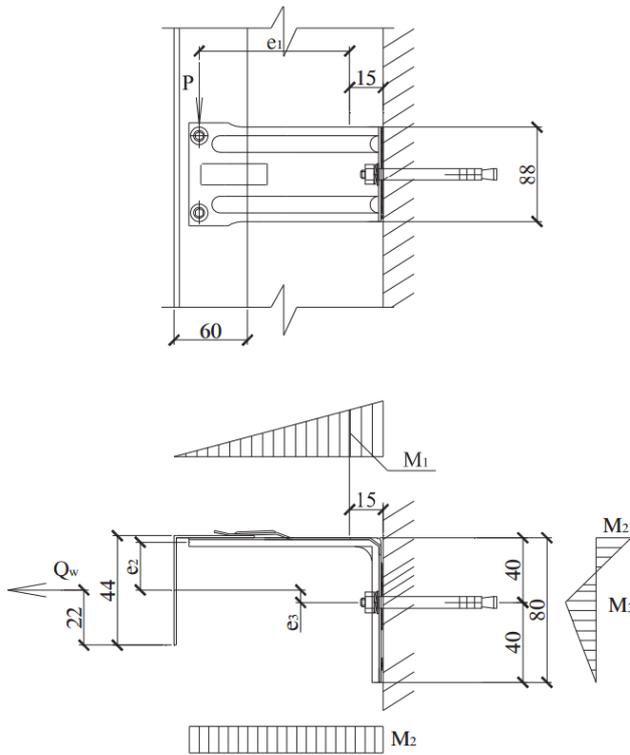


Рисунок 53 – Конструкция опорного кронштейна (см. совместно с рисунком. 53)

Рисунок 54 – Расчетная схема кронштейна ККУ-230

Геометрические характеристики сечения кронштейна ККУ-230 известны и приведены в [6], расчетная схема кронштейна приведена на рисунке 52, 53, кроме того по результатам расчета по формулам на стр. 129-135 того же источника имеем, что в целях обеспечения несущей способности крепления НВФ по опорному кронштейну грузовая площадь не должна превышать 0,38 кв. м.

В таблице 32 приведена расчетная разрушающая нагрузка на анкер и соответствующая предельная грузовая площадь.

Таблица 32 – Значение несущей способности анкерного крепления, кН

	<i>Var.I, Hilti HPD, M6</i>	<i>Var.II Sormat kbt 6</i>	<i>Var.III Химический анкер, установка конусным сверлом, M6</i>	<i>Var.IV Модернизированный дюбель Sormat kbt 6 с установкой методом нагнетания</i>
Расчетная несущая способность, кН, анкерных креплений в газобетонном блоке плотностью D500 (AAC 2)	0,4 [112]	0,43 [16]	1,2 [106]	1,25 [настоящая работа]

Продолжение таблицы 32

	<i>Вар. I, Hilti HPD, М6</i>	<i>Вар. II Sormat kbt 6</i>	<i>Вар. III Химический анкер, установка конусным сверлом, М6</i>	<i>Вар. IV Модернизированный дюбель Sormat kbt 6 с установкой методом нагнетания</i>
Предельная грузовая площадь на одно анкерное крепление, кв.м	0,081	0,088	0,244	0,254

Ввиду того, что схему крепления вертикального профиля принимают, как правило, пятипролётной шарнирно-закреплённой балкой с расстоянием между опорами 0,57 м, то расстояния по горизонтали между направляющими НВФ для различных анкерных систем будут следующие:

Таблица 33 – Расстояния по горизонтали между направляющими НВФ, м

	<i>Вар. I, Hilti HPD, М6</i>	<i>Вар. II Sormat kbt 6</i>	<i>Вар. III Химический анкер, установка конусным сверлом, М6</i>	<i>Вар. IV Модернизированный дюбель Sormat kbt 6 с установкой методом нагнетания</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Расстояние по горизонтали между направляющими НВФ, м	0,142	0,154	0,428	0,445

Для удобства, к расчету строительно-монтажных работ и расхода материалов примем участок НВФ габаритами 0,45x3 м, общей площадью 1,35 м².

Таким образом, при использовании креплений по вариантам 1, 2 необходимо устройство 12 анкеров и 3 вертикальных направляющих, а по вариантам 3, 4 – необходимо устройство 4 анкеров и 1 направляющей (первый и последний анкер устраиваются в монолитный выпуск межэтажного перекрытия).

Определение трудозатрат на строительно-монтажные работы

Объем работ, подлежащий сравнению: 1. Разметка поверхности; 2. Крепление к стене направляющих и закрепление стоечных профилей; 3. Сверление отверстий для дополнительного крепления плит анкерами; 4. Установка анкеров; 5.

Установка облицовочных плит; 6. Установка планок между вертикальными и горизонтальными стыками плит.

Оценка трудозатрат по каждой технологической операции (см. таблицу 34) проведена частично на основе нормативно-технологической литературы, а те позиции, которые не освещены ей, приняты по опыту автора, полученному при проведении стендовых испытаний.

Таблица 34 – Сравнительная таблица технологических операций устройства анкерных креплений по различным технологиям

<i>Вар. I, Hilti HPD, М6</i>	<i>Вар. II Sormat kbt 6</i>	<i>Вар. III Химический анкер, установка конусным сверлом, М6</i>	<i>Вар. IV Модернизированный дюбель Sormat kbt 6 с установкой методом нагнетания</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1. Разметить основание 2. Вбить конический сердечник 3. Одеть расширяющуюся втулку на сердечник с резьбой 4. Вбить втулку с помощью молотка 5. Зафиксировать строительную конструкцию	1. Разметить основание 2. Устроить цилиндрическое отверстие 3. Продувка отверстия 4. Прочистка отверстия 5. Продувка отверстия 6. Установить дюбель 7. Вкрутить саморез/шуруп/шпильку 8. Зафиксировать строительную конструкцию	1. Разметить основание 2. Открыть картридж с клеевым раствором 3. Накрутить миксер на картридж 4. Установить картридж в монтажный пистолет 5. Устройство цилиндрического отверстия 6. Устройство конусного отверстия 7. Продувка отверстия 8. Установить центрирующую головку 9. Наполнить отверстие клеевым раствором 10. Установить шпильку 11. Выдержать от 30 до 120 м в зависимости от вида клеевого раствора 12. Зафиксировать строительную конструкцию	1. Приготовление клеевой композиции 2. Разметить основание 3. Загрузить клеевую композицию в рабочую емкость 4. Устроить цилиндрическое отверстие 5. Продуть отверстие 6. Установить дюбель 7. Выполнить нагнетание клеевой композиции в течение 60 с 8. Зафиксировать строительную конструкцию

В таблице 35 приведено время выполнения каждой технологической операции в пересчете на устройство одного анкерного крепления.

Таблица 35 - Время, необходимое на проведение технологической операции, в пересчете на один анкер

Наименование операции	Время, необходимое на проведение технологической операции, в пересчете на 1 (один) анкер, мин
<i>1</i>	<i>2</i>
Вар. I Hilti HPD, M6	
1. Разметить основание	3
2. Вбить конический сердечник	1
3. Одеть расширяющуюся втулку на сердечник с резьбой	1
4. Вбить втулку с помощью молотка	1
5. Зафиксировать строительную конструкцию	2
Итого:	8
Вар. II Sormat kbt 6	
1. Разметить основание	3
2. Устроить цилиндрическое отверстие	1
3. Продувка отверстия	1
4. Прочистка отверстия	1
5. Продувка отверстия	1
6. Установить дюбель	1
7. Вкрутить саморез/шуруп/шпильку	1,5
8. Зафиксировать строительную конструкцию	2
Итого:	11,5
Вар. III Химический анкер, установка конусным сверлом, M6	
1. Разметить основание	3
2. Открыть картридж с клеевым раствором	1
3. Накрутить миксер на картридж	0,5
4. Установить картридж в монтажный пистолет	0,5
5. Устройство цилиндрического отверстия	1
6. Устройство конусного отверстия	3
7. Продувка отверстия	1
8. Установить центрирующую головку	1
9. Наполнить отверстие клеевым раствором	3
10. Установить шпильку	1
11. Выдержать от 30 до 120 мин в зависимости от вида клеевого раствор	Технологическое ожидание 60 мин
12. Зафиксировать строительную конструкцию	3
Итого:	17

Продолжение таблицы 35

Наименование операции	Время, необходимое на проведение технологической операции, в пересчете на 1 (один) анкер, мин
<i>1</i>	<i>2</i>
Вар. IV	
Модернизированный дюбель Sormat kbt 6 с установкой методом нагнетания	
1. Приготовление клеевой композиции	2
2. Разметить основание	3
3. Загрузить клеевую композицию в рабочую емкость	3
4. Устроить цилиндрическое отверстие	1
5. Продуть отверстие	1
6. Установить дюбель	1
7. Выполнить нагнетание клеевой композиции в течение 60 с	2
8. Зафиксировать строительную конструкцию	3
Итого:	16

Данные, приведённые в таблице, получены автором метрическим способом. Анкерные крепления с меньшей несущей способностью требуют меньшего времени их устройства. Несмотря на тот факт, что по вар. 3 (устройство химического анкера, устанавливаемого в отверстие коническое отверстие) необходимо провести технологическое ожидание до закрепления несущей конструкции, временные затраты на 18% превышают временные затраты для устройства анкера по новой улучшенной технологии.

Расчет амортизационных отчислений и определение стоимости основных материалов

Расчет амортизационных отчислений проведен в уровне цен IV квартала 2015 г. Стоимость дрели – 2789 руб. Срок службы дрели составляет 7 лет [118]. При количестве рабочих часов в году 1974 ч [74]. При среднем использовании дрели в течение 10% от рабочего времени, время работы дрели до отказа по данным производителя составляет 1382 ч. При среднем времени устройства отверстия в газобетон 20 с – амортизационная стоимость дрели при устройстве одного отверстия составляет – 0,01 руб.

Амортизационная стоимость свёрел по газобетону (бетону) при пересчете на одно анкерное крепление при стоимости 124 руб. при количестве отверстий 1000 шт. составляет – 0,13 руб.

Амортизационная стоимость конусного сверла при пересчете на одно анкерное крепление при его стоимости 1420 руб. при количестве устраиваемых отверстий в газобетоне – 500 шт., составляет 2,84 руб.

Нормы трудозатрат в разрезе отдельных технологических операций в отечественной литературе не приведены. Время на выполнение технологических операций определены метрическим путём при проведении стендовых испытаний.

Стоимость металлической направляющей КПП-60*44 (толщиной 1,2 мм) составляет 145 руб. [51].

Расход клея при устройстве химического анкера с использованием конического сверла по варианту 3 при габаритах отверстия: радиус верхнего основания – 5 мм, радиус нижнего основания – 2,5 мм, глубина анкеровки – 60 мм; – 52,7 см³.

Расход клея при устройстве анкера методом нагнетания по варианту 4 составляет – 7,1 см³, в том числе объем клея, проникшего в поры – 4,7 см³ (при общей пористости газобетона в 76%).

Стоимость шпильки длиной 10 см диаметром 8 мм составляет 8,72 руб. Стоимость эпоксидно-диановой смолы ЭД-22 – 440 руб/кг; отвердителя ХТ-1186 – 398 руб/кг. При приготовлении клеевой композиции в соотношении 4:1 (смола : отвердитель), стоимость 1 см³ клеевой композиции составляет 0,43 руб. Стоимость ацетона, используемого для промывки нагнетательной установки – 0,4 кг – 171,0 руб/кг.

Экономическое сравнение

Экономическое сравнение проводится по критерию сокращения прямых затрат при различных вариантах устройства НВФ. Автором рассматриваются в таблице 35 строительные операции и расход строительных материалов, на объем которых влияет новая улучшенная технология устройства анкерных креплений. Те операции и расход строительных материалов, на которые новая технология

влияния не оказывает, учитываются в качестве разницы между прямыми затратами на монтаж НВФ по средневзвешенной стоимости у различных производителей и стоимостью прямых затрат на наиболее распространённое решение, на которое новая технология оказывает влияние.

Общая стоимость прямых затрат принимается на основе средней стоимости у различных производителей по прайс-листам, находящимся в открытом доступе. Прямые затраты принимаются равными разнице между средней стоимостью устройства навесного фасада и сметной прибыли, накладных расходов. Ввиду того, что сметные расчеты производителей приведены в коммерческой форме, то по опыту автора сметная прибыль составляет 8% и накладные расходы – 12% от средней стоимости монтажных работ.

Для удобства расчетов при экономическом сравнении вариантов примем участок ограждающей конструкции, на который предполагается устроить НВФ, размером 0,45х3м, и общей площадью 1,35 кв.м. Объем монтажных работ приведен ниже.

Перечень технологических операций учитывает операции от разметки основания до закрепления вертикальной направляющей НВФ.

Таблица 36 – Технико-экономическое сравнение вариантов устройства анкерных креплений

Материалы	Кол-во, ед.	Цена за единицу, руб.	Стоимость, руб.
1	2	3	4
Вар. I			
Hilti HPD, M6			
Устройство 12-ти анкеров и 3-х вертикальных направляющих			
Анкер <i>Hilti HPD</i>	12, шт.	64,3	771,60
Амортизация вспомогательного инструмента от основного материала	7%	-	54,01
Направляющие КПП 44*60*1,2	3	145	435,00
Трудозатраты			
Монтажник 4 разр.	1,6 ч-час (=8*12/60)	220	352,00
Итого, руб.:			1612,16
Стоимость прямых затрат на 1 кв.м.			1194,19

Продолжение таблицы 36

Материалы	Кол-во, ед.	Цена за единицу, руб.	Стоимость, руб.
1	2	3	4
Вар. II			
Sormat kbt 6			
Устройство 12-ти анкеров и 3-х вертикальных направляющих			
Sormat kbt 6	12, шт.	36,10	443,20
Саморез 6x70	12, шт	2,30	27,60
Амортизация ручного электроинструмента	12, ед.	0,01	0,12
Амортизация расходных материалов для ручного электроинструмента (сверла)	12, ед.	0,13	1,56
Амортизация вспомогательного инструмента от основного материала	7%	-	33,07
Направляющие КПГ44*60*1,2	3	145	435,00
Трудозатраты			
Монтажник 4 разр.	1,3 ч-час (=11,5*12/60)	220	506,00
Итого, руб.:			1 446,40
Стоимость прямых затрат на 1 кв.м.			1 071,40
Вар. III			
Химический анкер, установка конусным сверлом, М6			
Устройство 4-х анкеров и 1-ой вертикальных направляющих			
Амортизация ручного электроинструмента	4, ед.	0,01	0,04
Амортизация сверла для цилиндрического отверстия	4, ед.	0,13	0,52
Амортизация конусного сверла	4, ед.	2,84	11,36
Дюбель	4, шт.	22	88,00
Клеевого раствора FIS S	210,8 см ³	1,89	400,10
Анкерная шпилька, 10 см, диам. 8мм	4	8,72	34,88
Насадка – миксер	1	96	96,00
Амортизация вспомогательного инструмента от основного материала	7%	-	67,36
Направляющие КПГ44*60*1,2	1	145	145,00
Трудозатраты			
Монтажник 4 разр.	1,2 ч-час (=17*4/60)	220	264,00
Итого, руб.:			1 107,26
Стоимость прямых затрат на 1 кв.м.			820,19
Вар. IV			
Модернизированный дюбель Sormat kbt 6 с установкой методом нагнетания Устройство 4-х анкеров и 1-ой вертикальных направляющих			
Амортизация ручного электроинструмента	4, ед.	0,01	0,04
Амортизация пневматического компрессора	4, ед.	3,3	13,2

Продолжение таблицы 36

Материалы	Кол-во, ед.	Цена за единицу, руб.	Стоимость, руб.
1	2	3	4
Амортизация сверла для цилиндрического отверстия	4, ед.	0,13	0,52
Удерживающее устройство (модернизированный <i>Sormat kbt 6</i>)	4, шт.	36,1	144,4
Клеевая композиция ЭД-22, отвердитель ХТ118-б	28,4 см ³	0,43	12,21
Саморез 6x70мм	4	2,3	9,60
Насадка – миксер	1	96	96,00
Ацетон	0,2, кг	171	34,20
Амортизация вспомогательного инструмента от основного материала	7%	-	20,79
Направляющие КПП 44*60*1,2	1	145	145
Трудозатраты			
Монтажник 4 разр.	1,4 ч-час (=11*4/60 + 2*5*4/60) ¹	220	308,0
Итого, руб.:			783,96
Стоимость прямых затрат на 1 кв.м.			580,27

Примечание 1. Часть работ по табл. 37 (п. 1-6) могут быть выполнены одним рабочим – монтажником. Процессы нагнетания и выдерживания под избыточным давлением выполняются звеном из 2-х человек.

В таблице 36 выведены прямые затраты на устройство 1 кв.м НВФ по технологическим процессам, отраженным в таблице 34. В целях определения сокращения прямых затрат по всем технологическим процессам при устройстве НВФ рассчитаем среднюю стоимость устройства НВФ по прайсам заводов-изготовителей (см. таблицу 37).

Таблица 37 – Стоимость устройства 1 кв.м НВФ по прайсам заводов изготовителей

Системы НВФ	Анфас	Фасады	Краспан	Средняя стоимость
1	2	3	4	5
Стоимость, руб.	2350 [62]	4000 [58]	3937,32 [40]	3392,44

Как правило, заводы-изготовители предлагают решения с креплением дюбелей анкерами-трения, что близко к вар. 2 (см. таблицу 36), следовательно, остальные затраты составляют (3392,44 - 1071,40) = 2321,04 руб. Согласно расценке ФЕР15-01-064-01 трудозатраты составляют 2,7 ч-час / кв.м НВФ. Средний разряд

рабочих – 4. В таблице 38 приводится значение сокращения и приращения показателей экономических и трудовых затрат на СМР.

Таблица 38 – Относительные показатели по экономическим и трудовым затратам на устройство НВФ по разработанной технологии устройства анкерных креплений методом нагнетания

Вариант устройства анкерных креплений при монтаже НВФ	Общая стоимость устройства НВФ по каждому из вариантов	Общие трудовые затраты, ч-час/м²	Приращение трудоемкости выполнения СМР, %	Приращение экономических затрат выполнения СМР, %
1	2	3	4	5
Базовый вариант – установка анкерных креплений методом нагнетания	2 901,31	2,8	0	0
Вар. 1 – установка анкеров НРД	3 515,23	2,9	+ 21,2 %	+ 3,5 %
Вар. 2 – установка дюбелей <i>Sormat kbt 6</i>	3 392,04	2,7	+ 16,9 %	- 3,5 %
Вар. 3 – установка химических анкеров с помощью конусного сверла	3 141,23	2,6	+ 8,2 %	- 7,1 %

Технико-экономический эффект предложенного технологического решения в сравнении с известными способами устройства анкерных креплений показал, что работы, выполненные согласно предложенной нагнетательной технологии, позволяют достигнуть повышения технических и технологических характеристик в следующем объеме:

- по критерию несущей способности – повышение несущей способности на 4,2% в зависимости от режима нагнетания и свойств газобетонного изделия по сравнению с наиболее прогрессивными технологиями устройства анкерных креплений;

- экономический эффект заключается в сокращении экономических затрат на до 8,2% при незначительно возрастающей трудоемкости при монтаже навесного вентилируемого фасада на анкерные крепления по усовершенствованной технологии.

Значительное сокращение в стоимостном выражении обусловлено фактически 3-х кратным сокращением металлоемкости каркаса НВФ, ввиду увеличения шага расположения направляющих.

4.3 Методы контроля качества устройства анкерных креплений в газобетон методом нагнетания

Контроль качества анкерных креплений как элемент строительного производства подлежит входному, операционному и приемочному контролю [88].

В ходе установки анкерных креплений в газобетонных элементах несущих и ограждающих конструкций, они, как и другие анкерные крепления, подвергаются контролю:

- вертикальность устроенного отверстия с помощью угольника и вертикального стержня;
- диаметр устроенного отверстия, с помощью линейки с миллиметровым делениями;
- глубина отверстия с помощью щупа.

Перед загрузкой клеевой композиции в нагнетательную установку проверяют визуально её гомогенность, однородность, отсутствие посторонних включений. Кроме того, необходимо отлить балочки по принципиальной конструктивной схеме на рисунке 54. Габариты данных балочек необходимо уточнить в лаборатории, которая проведет их испытания по [107] на разрыв.

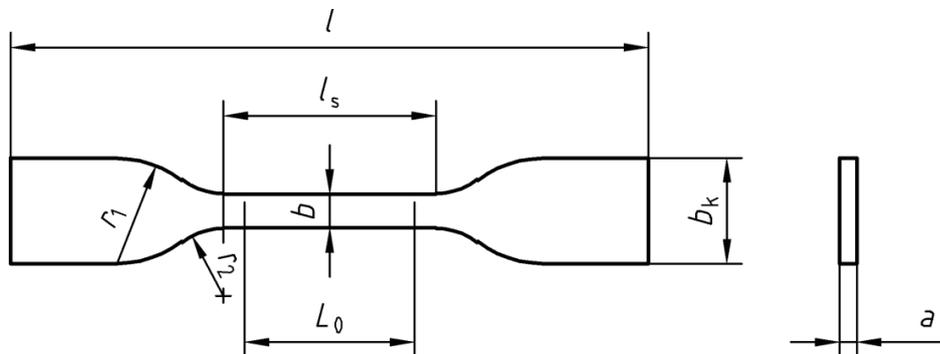


Рисунок 55 – Конструктивная схема клеевой балочки, испытываемой на разрыв

При внедрении новой улучшенной технологии устройства анкерных креплений автором разработаны новые методы контроля качества.

Установить факт выполнения требований режима нагнетания в части давления и времени приложения избыточного давления возможно по наличию пропитанной клеевой композицией приконтактной зоны на лицевой поверхности газобетона (см. рисунок 55).

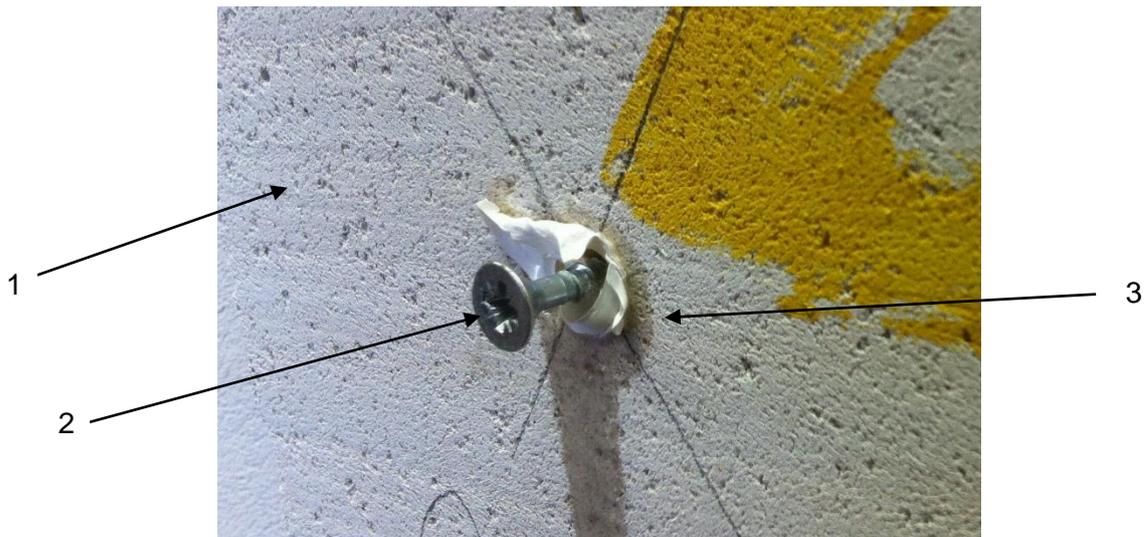


Рисунок 56 – Общий вид установленного анкерного крепления методом нагнетания. 1 – газобетонный элемент; 2 – шуруп; 3 – пропитанная приконтактная зона на лицевой поверхности

Установить факт того, что нагнеталась именно клеевая композиция, возможно через 24 ч после её нагнетания. Физическим усилием рабочего раскрутить установленное анкерное крепление не представляется возможным.

При установке несущих конструкций в проектное положение необходимо предусмотреть также установку специальных кронштейнов (например, в виде шайбы с двумя пазами, расплoжёнными на вертикальных пластинах), с целью обеспечения возможности временного крепления адгезиметра. Далее в целях того, чтобы проконтролировать способность анкера расчетной нагрузкой необходимо нагрузить от 10-25% [79] от общего количества анкеров расчетной нагрузкой по [96].

Выводы по четвертой главе:

1. Определены рациональные области применения технологических параметров процессов устройства анкерных креплений в газобетонных материалах методом нагнетания.

2. Приведен порядок контроля качества нагнетания клеевой композиции, обеспечивающий требуемый уровень надежности.

3. Представлены возможные технологические решения устройства анкерных креплений с использованием различных клеевых композиций и применяемого оборудования. Показана широкая область применения предложенной технологии.

4. Достигнуто повышение несущей способности на 4,2% в зависимости от режима нагнетания и свойств газобетонного изделия по сравнению с наиболее прогрессивными технологиями устройства анкерных креплений.

5. Разработан «Технологический регламент по устройству анкерных креплений в газобетонные несущие и ограждающие конструкции методом нагнетания», содержащий указания к проектированию и подбору оптимальных технологических параметров.

СПИСОК ТЕРМИНОВ

Анкерное крепление – это система элементов, обеспечивающих крепление одной строительной конструкции различного назначения к другой.

Дюбель – полое удерживающее устройство распорного или нарезающего вида, предназначенное для установки в него самореза или шпильки. Дюбель является составляющим элементом анкерного крепления.

Контактная зона – площадка передачи усилий разного рода анкерного крепления на базовый материал.

Несущая способность – значение нагрузки, при которой увеличение деформации анкера происходит без роста усилия на него.

Расчетное усилие вырыва анкера – это нагрузка, после снятия которой остаточные деформации анкерного крепления не превышают 0,1 мм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработан, запатентован и апробирован новый метод анкерных креплений методом нагнетания с использованием дюбеля специальной конструкции, при вкручивании которого образуются каналы в газобетоне, которые обеспечивают свободное прохождение клеевой композиции в поровую структуру газобетона. Устройство анкерных креплений методом нагнетания позволяет обеспечить глубокое и объемное проникновение композиции в газобетонное изделие, что в дальнейшем значительно повысит несущую способность анкерного крепления.

2. Разработаны и обоснованы физическая и математическая модели распространения клеевой композиции в поровом пространстве газобетона в зависимости от параметров подачи, свойств клеевой композиции и свойств материала, а также позволяющие определить время движения клеевой композиции в нагнетательной установке и скорость её проникновения в поровую структуру газобетона.

3. Определены технологические требования к базовым материалам и клеевым композициям при установке анкеров по нагнетательной технологии.

4. Экспериментально установлена зависимость входных технологических параметров на несущую способность анкерного крепления.

5. Исследована фактическая работа анкера под нагрузкой и разгрузкой и установлено, что анкер, установленным методом нагнетания, включается в работу сразу после приложения нагрузки.

6. Предложены формулы, позволяющие прогнозировать несущую способность анкера при различных физико-механических свойствах клеевой композиции, основания, времени подачи и значения избыточного давления.

7. Показана возможность снижения глубины анкеровки дюбеля анкерного крепления.

8. Разработаны методы контроля качества устройства анкерных креплений методом нагнетания.

9. Установлено повышение несущей способности анкерного крепления на 4,2% по сравнению с наиболее прогрессивными технологиями устройства анкерных креплений в газобетонные изделия.

10. Получен экономический эффект от внедрения предложенного технологического решения в виде сокращения стоимости 8,2% при монтаже 1 кв.м. навесного вентилируемого фасада при незначительно возрастающей трудоемкости.

11. Разработан и внедрен «Технологический регламент по устройству анкерных креплений в газобетонные несущие и ограждающие конструкции методом нагнетания», содержащий указания к проектированию и подбору оптимальных технологических параметров, утвержденный ООО «Центр экспертизы и проектирования строительных конструкций» // ООО «ЦЭиПСК».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Ю.С., Лайдабон Ч.С., Дашиев Г.Д. Кластерная модель процесса сушки древесины // Тезисы научно-практической конференции «Проблемы химико-лесного комплекса», КГТА., 1996. – С. 32–35.
2. Алисултанов Р. С. и др. Исследование нагрузочной способности фасадного анкерного дюбеля, извлекаемого из стальной втулки // Вестник МГСУ. – 2015. – С. 7–18.
3. Балханова Е.Д., Лайдабон Ч.С., Гильмутдинов Р.В. Коррозионностойкость поверхностно-модифицированных бетонов // Тезисы научно-практической конференции ВСГТУ, г. Улан-Удэ. 2000. – С. 3–7.
4. Басниев К. С., Кочина И. Н., Максимов В. М. Подземная гидромеханика //М.: Недра. – 1993. – С. – 402.
5. Беланович С.Б. и др. Применение армированных автоклавных ячеисто-бетонных изделий // Жилищное строительство. 2013. (4). – С. 27–34.
6. Беляев В.Ф., Ладзь Н.Ю., Шуваева В.С. Расчет фасадных систем ООО «Компания Металл Профиль» //М.: ЦНИИПСК им. Мельникова, 2012. – С. – 225.
7. Вагнер Е.С. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами // Достижения вузовской науки. 2015. (15). – С. 119–123.
8. Ватин Н.И., Горшков А.С. Инновационная технология возведения стеновых конструкций из газобетонных блоков на полиуретановом клею // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 13 (8). – С. 20–28.
9. Ватин Н.И., Горшков А.С. Свойства стеновых конструкций из ячеистобетонных изделий автоклавного твердения на полиуретановом клею // Инженерно-строительный журнал. 2013. (5). – С. 5–19.
10. Верстов В.В., Питулько А.Ф. Состояние и перспективы развития первичных средств крепления в строительстве // Вестник гражданских инженеров. 2007. № 7 (2). – С. 68–73.

11. Верстов В.В., Федулов Е.С. Повышение надежности и несущей способности анкерных систем при креплении навесных конструкций на пористые основания // Вестник гражданских инженеров. 2014. (7). – С. 68–71.
12. Верстов В.В., Федулов Е.С. Пути повышения надежности и несущей способности первичных средств крепления // 70-й научной конференции преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. СПбГАСУ, СПб. 2014. (1). – С. 68–71.
13. Вишневский А.А., Гринфельд Г.И., Смирнова А.С. Производство автоклавного газобетона в России // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2015. (5-6). – С. 11–13.
14. Волженский А. В. Минеральные вяжущие вещества: (технология и свойства). Учебник для вузов / Волженский А. В., Буров Ю. С., Колокольников В. С. – 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1979. – 476 с.
15. Воробьев А.А., Саид М.С. Деформативность растворов, пропитанных нефтепродуктами // Бетон и железобетон. 2004. (1). – С. 11–12.
16. Вылегжанин В.П., Пинскер В.А., Гринфельд Г.И. Крепление навесных конструкций к газобетонным стенам // Журнал строительных материалов и технологий. 2014. (74). – С. 37–40.
17. Вылегжанин В.П., Пинскер В.А., Куликова Н.О. Методика расчета усилий выдергивания профилированных канальных и бесканальных анкеров из автоклавного газобетона // СПб: Центр ячеистых бетонов, 2014. – С. – 16.
18. Вылегжанин В.П., Пинскер В.А., Куликова Н.О. Методические указания по применению блоков из автоклавного газобетона ПГ «Стройкомплект» при проектировании и возведении внутренних и ограждающих конструкций малоэтажных и многоэтажных жилых, общественных и промышленных зданий // СПб: Центр ячеистых бетонов, 2012. – С. – 118.
19. Гершберг О.А. Технология бетонных и железобетонных изделий, 3 изд. //М.: Стройиздат, 1971. – С. – 359;
20. Горлов Ю.П., Меркин А.П., Устенко А.А. Технология теплоизоляционных материалов //М.: Стройиздат, 1980. – С. – 399;

21. ГОСТ 10180-2012, Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. [Текст]. – введён в действие 01.07.2013. – Москва: НИИЖБ; Москва: Изд-во стандартов, 2013. – 35 с.
22. ГОСТ 10587-84, Смолы эпоксидно-диановые неотвержденные. Технические условия [Текст]. – введён в действие 01.01.1985. – Москва: Министерство химической промышленности СССР; Москва: Изд-во стандартов, 1985. – 19 с.
23. ГОСТ 18992-80. Дисперсия поливинилацетатная гомополимерная грубодисперсная. Технические условия [Текст]. – введён в действие 01.01.1982. – Москва: Минхимпром СССР; Москва: Изд-во стандартов, 1982. – 21 с.
24. Грановский А.В., Киселев Д.А. Исследования работы анкеров при сейсмических ударных воздействиях // Технологии строительства. 2009. № 68 (6). – С. 1–3.
25. Грановский А.В., Киселев Д.А. Прочностные испытания различных типов анкерных креплений в газобетонные блоки «YTONG», изготовленные ЗАО «Кселла-Аэроблок-Центр», с учетом их влажности. // М.: ЦНИИСК, 2009. – С. – 56.
26. Давидюк А.А. Наружные стены каркасных зданий на основе легких бетонов на стекловидных заполнителях [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.23.01: защищена 30.06.14: / Давидюк Артём Алексеевич. – Москва, 2014. – 144 с.
27. Доронина Н.Д., Зенина В.А. Повышение морозостойкости бетонов пропиткой полимерными веществами // Повышение долговечности цементнобетонных покрытий и совершенствование технологии их строительства. М., 1981. – С. 44–49.
28. Емельянов А.А. Разработка и расчет конструкции фасадной системы с гибкими связями с учетом тепловой эффективности стенового ограждения здания [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.23.01: защищена 19.10.15: / Емельянов Алексей Андреевич. – Москва, 2015. – 163 с.
29. Емельянов А.А. Узловое крепление керамогранита на анкерных резьбовых шпильках в навесном вентилируемом фасаде // М.: Семнадцатая международная межвузовская научно-практическая конференция студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, посвященной фундаментальным научным

исследованиям в строительстве: «Строительство – формирование среды жизнедеятельности». 2014. – С. 221–225.

30. Ершова С.Г. Обеспечение эффективной гидрофобной защиты неорганических строительных материалов [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / Ершова Светлана Георгиевна. – Новосибирск, 2006. – 143 с.

31. Жуков А.Д. и др. Напряженно-деформированное состояние в технологии материалов ячеистой структуры // Научное обозрение. 2015. (7) – С. 213–217.

32. Жуков А.Д., Боброва Е.Ю., Карпова А.О. Фасадные системы – прочность, польза, красота // Вестник МГСУ. 2015. (10). – С. 201–209.

33. Жуков А.Д., Чугунков А.В., Гудков П.К. Геометрическая модель ячеистого бетона и прогнозирование его свойств // Наука, строительство, образование. 2012. (2). – С. 1–7.

34. Иванова А.С., Быкова М.Е. Принципы крепления и расчета анкеров навесных вентилируемых фасадных систем // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2014. № 8 (3). – С. 32–39.

35. Казаков Ю.Н., Пискун А.Е. Рациональные технологические параметры устройства навесных вентилируемых фасадов // Вестник гражданских инженеров. 2008. (4). – С. 25–29.

36. Килина О.В., Килин П.С., Кульков С.Н. Моделирование деформационного поведения пористой керамики // Физическая мезомеханика. 2002. № 5 (4). – С. 47–53.

37. Коллинз Р. Течение жидкостей через пористые материалы // М.: Мир, 1964. – С. – 351.

38. Корнилов Т.А., Амбросьев В.В. Оценка прочности крепления анкеров кронштейнов вентилируемых фасадных систем // Жилищное строительство. 2010. – С. 35–37.

39. Король Е.А. и др. Анализ дефектов светопрозрачных ограждающих конструкций // Научное обозрение. 2015. (7). – С. 444–447.

40. Краспан. Онлайн-калькулятор стоимости установки НВФ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kraspan.ru/calculator/> (дата обращения: 20.12.2016).

41. Кудрявцева М.А., Бобина О.Н., Лучин В.А. Применение разжимных дюбелей для установки средств крепления санитарно-технических трубопроводов, устройств и воздухопроводов // Сб. науч. трудов «Индустриальные отопительно-вентиляционные и санитарно-технические системы и технология их монтажа». 1982. – С. 98–103.
42. Кудрявцева М.А., Додусенко В.В. Универсальные средства крепления санитарно-технических и отопительно-вентиляционных систем // Сб. науч. трудов «Новые технические решения и технология для систем отопления и вентиляции». 1993. – С. 38–48.
43. Кудрявцева М.А., Фихтман С.А., Фельдман М.В. Разработка индустриальных винтовых подвесок для трубопроводов и воздухопроводов // Сб. науч. трудов «Энергосберегающие индустриальные системы теплоснабжения и вентиляции». 1988. – С. 146–151.
44. Кузьмичев В.А. К вопросу особенностей проектирования вибросмесителей // Механики XXI века. 2015. (14) – С. 257–261.
45. Кузьмичев В.А. Совершенствование техники и технологии заполнения закрытых полостей смесями // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 49 (2). – С. 93–95.
46. Лайдабон Ч.С. Поверхностная модификация бетонов высоковязкими составами [Текст]: дис. докт. техн. наук: 05.23.05 / Лайдабон Чимит Сандабович. – Иркутск, 2005. – 265 с.
47. Лаукайтис А.А. Воздухопроницаемость ячеистых бетонов низкой плотности // Строительные материалы. 2001. (7). – С. – 16.
48. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газов // Ленинград: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1950. – С. – 676.
49. Малинкин А.С. Моделирование технологических процессов бетонирования закрытых полостей // Актуальные проблемы современного строительства: III Международный конгресс. 2014. – С. 239–242.
50. Мартыненко В.А., Ворона А.Н. Запорожский ячеистый бетон /Днепропетровск: Пороги, 2003. – С. – 95.

51. Металл полимер Сборник цен на металлопрофиль КПП-44-60 [Электронный ресурс]. URL: <http://kupi-krovlu.ru/kpg/KPG-0004/>. (дата обращения: 15.12.2016).
52. Механика в СССР за 50 лет. Том 2. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1970, – С. – 880.
53. Микульский В.Г., Игонин Л.А. Сцепление и склеивание бетона в сооружениях //М.: Стройиздат, 1965. – С. – 128.
54. Молотков Г.С., Подтёлков В.В. Основные причины разрушения конструкций вентилируемых фасадов «Сиал КМ» и рекомендации по их устранению // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 107. – С. 1–22.
55. Немова Д.В. Навесные вентилируемые фасады: обзор основных проблем // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 5. – С. 7–11.
56. Николаевский В. Н. и др. Механика насыщенных пористых сред / Николаевский В. Н., Басниев К.С., Горбунов А.Т., Зотов Г.А. //М.: Недра, 1970. – С. – 339.
57. Нохрина Л.А. Образование скважин в бетоне для заделки анкеров с помощью клеа // Вестник харьковской государственной академии городского хозяйства. 2000. – С. 55–58.
58. ООО «Строительная компания Альянс» Прайс-лист на монтаж НВФ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fasad78.ru/цены> (дата обращения: 15.12.2016).
59. Островский Г.М. Прикладная механика неоднородных сред // Санкт-Петербург: Наука, 2000. – С. – 359.
60. Панарин С.Н., Верстов В.В., Малинкин А.С. Совершенствование технологии бетонирования полостей под днищами промышленных аппаратов // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2013. (8). – С. 2–5.
61. Панарин С.Н., Малинкин А.С. Технологии бетонирования полостей под днищами промышленных аппаратов методом нагнетания // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 48 (1). – С. 107–114.

62. ПАО «Анфас» Прайс-лист на поставку и монтаж НВФ [Электронный ресурс]. URL: http://www.anfas.spb.ru/userfiles/files/ventfasad_pricelist_2015.pdf (дата обращения: 15.12.2015).
63. Пат. 20040120786 US, МПК F16B 039/02. Anchor bolt and installing method thereof [Текст] / Suehiro, Morio; (Osaka-shi, JP); заявитель и патентообладатель: Suehiro-system co., LTD. - № 10/321466; заявл. December 18, 2002; опубл. June 24, 2004 – 4 с.
64. Пат. 2327064 Российская Федерация, МПК F16B 13/02 F16B 15/06. Дюбель для крепления навесных конструкций [Текст] / Верстов В.В., Питулько А.Ф., Буданов Б.А.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет". – № 2006124033/11; заявл. 04.07.2006; опубл. 20.06.2008, Бюл. № 17 – 3 с.
65. Пат. 2363864. Российская Федерация, МПК F16B 13/14 E04B 1/41. Инжекционная крепежная система и способ инъекционного крепления [Текст] / ЯКОБ Райнер (DE), БЕРГ Ральф (DE); заявитель и патентообладатель ФИШЕРВЕРКЕ АРТУР ФИШЕР ГМБХ УНД КО. КГ (DE). – № 2006146945/11; заявл. 21.05.2005; опубл. 10.08.2009, Бюл. № 22 – 1 с.
66. Пат. 4179861 US, МПК E21D 20/02 (20060101); E21D 21/00 (20060101); E21D. Method of anchoring a borehole anchor [Текст] / Brown; John V.; заявитель и патентообладатель Allfa duebel GMBH, (DE). – № 05/932,980; заявл. August 11, 1978; опубл December 25, 1979 – 2 с.
67. Пат. 4404875 US, МПК F16B13/00; F16B13/13; (IPC1-7): F16B13/00 Installer drive unit for chemical anchor [Текст] / Sadanandan; Kunissey P. (Reading, PA), Guntulis; Raymond S. (Manchester, CT); заявитель и патентообладатель USM Corporation (Farmington, CT). – № 06/399,402; заявл. July 19, 1982; опубл September 20, 1983 – 5 с.
68. Пат. 5885041 US, МПК F16B 13/14 (20060101); F16B 13/00 (20060101); F16B. Chemical self-tapping, screw-type masonry anchor [Текст] / Giannuzzi; Louis N. (Stamford, CT), Giannuzzi; Anthony C. (Stamford, CT); заявитель и

патентообладатель Giannuzzi; Anthony C. (Stamford, CT). – № 08/905,814; заявл August 4, 1997; опубл March 23, 1999 – 3 с.

69. Пат. 6164884. US, МПК F16B 13/04; F16B 13/06. Anchor with spreading elements [Текст] / Alfred Friedrich Mayr, (AT); заявитель и патентообладатель Alfred Friedrich Mayr (AT). – № 09/375,966; заявл. Aug- 17, 1999; опубл. Dec. 26, 2000 – 4 с.

70. Пат. 6739813 US, МПК F16B 13/00 (20060101); F16B 13/12 (20060101); F16B 33/00 (20060101); F16B 13/02 (20060101); F16B 013/06 (); F16B 019/00 (); F16B 033/00 (). Plastic encapsulated bolt and anchor assembly [Текст] / Gundy; William P. (Milford, NH), Wilmot; Russell (Bedford, NH); заявитель и патентообладатель: Gundy; William P. (Milford, NH). – № 09/575,046; заявл. May 19, 2000; опубл. May 25, 2004 – 6 с.

71. Пат. EP1262668(A1). DE, МПК F16B13/00; F16B13/13; (IPC1-7): F16B13/00. Self-cutting dowel [Текст] / Tkocz Horst [DE]; Kempkes Dieter [DE]; заявитель и патентообладатель Allfa duebel GMBH, (DE). – № EP20010112696 20010525; заявл. Aug- 17, 1999; опубл. 2002-12-04 – 4 с.

72. Пискун А.Е. Рациональные технологические решения устройства навесных вентилируемых фасадов в жилых домах [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.23.08 / Пискун Александр Евгеньевич. – Санкт-Петербург, 2009. – 192 с.

73. Плаченев Т. Г., Колосенцев С. Д. Порометрия // Ленинград: Химия, 1988. – С. – 176.

74. Производственный календарь на 2016 год [Электронный ресурс]. URL: <http://www.garant.ru/calendar/buhpravo/> (дата обращения 15.01.2016)

75. Прокудина Л.А. Математическое моделирование неустойчивых режимов трехмерного течения жидких пленок // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. 1999. (1). – С. 1–5.

76. Пустовойтов О.В., Пустовойтова О.М., Зинченко В.М. Анализ случаев преждевременного выхода из строя железобетонных напорных трубопроводов // Коммунальное хозяйство городов. 2010. № 93. – С. – 533–536.

77. Рудченко Д.Г. Ячеистый бетон автоклавного твердения *Aeroc* плотностью 150 кг/м³. Особенности производства и применения // 8-я Международная научно-практическая конференция «Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения». 2014. – С. – 33–39.
78. Сапожников С.Б., Шакиров А.А., Халилова Р.Г. Повышение жесткости нахлесточных клеемеханических соединений, армированных самонарезающими винтами // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2015. № 4 (14). – С. 30–36.
79. Системы фасадные. Навесные фасадные системы с воздушным зазором. Монтаж анкерных креплений. Правила, контроль выполнения и требования к результатам //ООО Смип Аидико-МГСУ Рус, 2013. – С. – 26.
80. Скляр В.А., Супрун О.Ю. Длительная прочность клеевых анкеров в зависимости от геометрических параметров анкерных соединений // Харьков: Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова, 2013, – С. – 1–4.
81. Смолин А.Ю., Коноваленко И.С., Кульков С. Н. О возможности квазивязкого разрушения хрупких сред со стохастическим распределением пор // Письма в ЖТФ. 2006. № 17 (32). – С. – 7–14.
82. Справочник по клеям/Составители: Айрапетян Л. Х., Заика В. Д., Елецкая Л. Д., Яншина Л. А. – Л.: Химия, 1980. – 304 с, ил.
83. Стерлягов А.Н. Совместный тепло- и влагоперенос в ограждающих конструкциях зданий из газобетона [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.23.03 / Стерлягов Алексей Николаевич. – Новосибирск, 2007. – 167 с.
84. Строительные нормы и правила: СНиП 23-01-99. Строительная климатология [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 1999.
85. Строительные нормы: СН 509-78. Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 1978.

86. Строительные нормы: СН 423-71. Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительстве [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 1979. – 36 с.
87. Строительные правила: СП 15.13330.2012 Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81* [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 2012.
88. Строительные правила: СП 48.13330.2011 Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004 [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 2011.
89. Строительные правила: СП 54.13330.2011 Организация строительства. Здания жилые многоквартирные [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 2011 – С. – 36.
90. Строительные правила: СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 (с Изменением N 1) [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 2012.
91. Технические характеристики. Универсальная настольная электромеханическая испытательная машина Instron, модель 5966, 10кН.
92. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений // Федеральный закон РФ от 30.12.09 № 384–ФЗ. – М., 2009.
93. Торкатюк В.И. и др. Анализ особенностей оценки и выбора стратегии планирования управления энергосберегающими технологиями в строительстве объектов жилищно-коммунальной сферы // Харьковская национальная академия городского хозяйства. 2009. – С. – 64–66.
94. Третьяков В.В., Толкынбаев Т.А. Статистическая оценка точности образования отверстий под дюбели на строительных элементах // Сб. науч. трудов «Вопросы фундаментостроения и геотехники». 2002. – С. – 133–137.
95. Туснина В.М., Емельянов А.А. Разработка конструктивного решения фасадной системы из керамогранита // Промышленное и гражданское строительство. 2013. (12). – С. – 87–88.

96. ФГУ «ФЦС» Стандарт ФЦС – 44416204-09-2010. Крепления анкерные. Метод определения несущей способности анкеров по результатам натурных испытаний / ФГУ «ФЦС», Москва, 2010. 16 с.
97. Федулов Е.С. Исследование структурного состояния пористых ограждающих конструкций здания в связи с технологическими параметрами установки химических анкерных креплений нагнетательным способом // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 48 (1). – С. – 122–126.
98. Фишер SX нейлоновый дюбель [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fischer-fix.ru/index.php?id=117> (дата обращения: 24.12.2015).
99. Хейфец Л.И., Неймарк А.В. Многофазные процессы в пористых средах // М.: Химия, 1982. – С. – 320.
100. Химэкс Лимитед. Каталог продукции клеевых композиций и отвердителей // Санкт-Петербург: Химэкс Лимитед, 2012. – С. – 57.
101. Чураев Н.В. Физикохимия процессов массопереноса в пористых телах // М.: Химия, 1990. – С. – 272.
102. Шейдеггер А. Э. Физика течения жидкостей через пористые среды // М.: Гос. изд. нефтяной и горно-топливной лит, 1960. – С. –250.
103. Alqedra M.A., Ashour A.F. Prediction of shear capacity of single anchors located near a concrete edge using neural networks // Computers and Structures. 2005. (83). – С. – 2495–2502.
104. Bajaj M., Barnat J. The glue-concrete interface of bonded anchors // Construction and Building Materials. 2012. (34). – С. – 267–274.
105. Delhomme F., Debicki G. Numerical modelling of anchor bolts under pullout and relaxation tests // Construction and Building Materials. 2010. № 7 (24). – С. – 1232–1238.
106. Deutsches Institut für Bautechnik ETA-10/0383 / Deutsches Institut für Bautechnik, 2015. – С. – 98.
107. DIN 53504-2009-10 Testing of rubber - determination of tensile strength at break, tensile at yield, elongation at break and stress values in a tensile test // Norm-Entwurf, 2009. – С. 30.

108. European Organization for Technical Approvals Guideline for European technical approval of plastic anchors for multiple use in concrete and masonry for non-structural application. Part five: plastic anchors for use in autoclaved aerated concrete (AAC) // European Organization for Technical Approvals, Brussels, 2006. C. – 13.
109. European Organization for Technical Approvals Guideline for European technical approval of plastic anchors for multiple use in concrete and masonry for non-structural application. Annex C: Design methods for anchorages / European Organisation for Technical Approvals, Brussels, 2006. C. – 13.
110. Feenstra P.H. Computational aspects of biaxial stress in plain and reinforced concrete // TU Delft, Delft University of Technology, 1993. – C. – 48–56.
111. ETAG 001 guideline for European technical approval of metal anchors. Annex C : Design methods for anchorages// European Organisation for Technical Approvals, Brussels, 2008. C. – 1–47.
112. Hilti corp. Руководство по анкерному крепежу / Hilti corp., 2012. – C. – 662.
113. ETAG 029 Edition April 2013 Annex C : Design methods for anchorages // European Organisation for Technical Approvals, Brussels, 2013. C. – 16.
114. Ioannou I., Hamilton A., Hall C. Capillary absorption of water and n-decane by autoclaved aerated concrete // Cement and Concrete Research. 2008. № 6 (38). – C. – 766–771.
115. Ivorra S. и др. Partial collapse of a ventilated stone façade: Diagnosis and analysis of the anchorage system // Engineering Failure Analysis. 2013. (31). – C. – 290–301.
116. Mungo MJP Джет-Плаг [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mungo.ru> (дата обращения 15.12.2015)
117. R. Eligehausen, R. Malléeб, J.F. Silva Anchorage in Concrete Construction // Ernst & Sohn, 2006. – C. – 391.
118. Robert Bosch GmbH GBM 6 RE Professional // Original instruction. 2014. – C. – 78.
119. Schober G. Porosity in autoclaved aerated concrete (AAC): A review on pore structure, types of porosity, measurement methods and effects of porosity on properties // 5th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete "Securing a sustainable

future" to be held at Bydgoszcz to celebrate 60 years of AAC experience in Poland, 2011., – С. – 39–43.

120. Soparat P., Nanakorn P. Analysis of anchor bolt pullout in concrete by the element-free Galerkin method // *Engineering Structures*. 2008. № 12 (30). – С. – 3574–3586.

121. Sormat. Каталог продукции // Sormat, 2013. – С. – 126.

122. Werner Fuchs and John E. Breen R.E. Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete // *Structural Journal*. 1995. № 1 (92) – С. – 73–94.

123. Zhao Y., Yang M. Pull-out behavior of an imperfectly bonded anchor system // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2011. № 3 (48). – С. – 469–475.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Патент на изобретение №2014153037.

Положительное решение Федеральной службы по интеллектуальной собственности от 25.01.2015, приоритет от 25.12.2014. Авторы - В.В. Верстов, Е.С. Федулов, А.С. Шеховцов

Форма № 01 ИЗ-2014

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(РОСПАТЕНТ)**

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993. Телефон (8-499) 240-60-15. Факс (8-495) 531-63-18

На № - от -

Наш № 2014153037/12(084816)

*При переписке просим ссылаться на номер заявки и
сообщить дату получения настоящей корреспонденции
от 25.01.2016*

ФГБОУ ВПО "СПбГАСУ", Служба
интеллектуальной собственности управления
научно-технических услуг
ул. 2-я Красноармейская, 4
Санкт-Петербург
190005

Р Е Ш Е Н И Е**о выдаче патента на изобретение**

(21) Заявка № 2014153037/12(084816)

(22) Дата подачи заявки 25.12.2014

В результате экспертизы заявки на изобретение по существу установлено, что заявленное изобретение относится к объектам патентных прав, соответствует условиям патентоспособности, сущность заявленного изобретения (изобретений) в документах заявки раскрыта с полнотой, достаточной для осуществления изобретения (изобретений)*, в связи с чем принято решение о выдаче патента на изобретение.

Заключение по результатам экспертизы прилагается.

Приложение: на 2 л. в 1 экз.

Заместитель руководителя



Л.Л. Кирий



*Проверка достаточности раскрытия сущности заявленного изобретения проводится по заявкам на изобретения, поданным после 01.10.2014.

Вх 66.19.11 от 08.02.2016 (15/2014)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРТИЗЫ

(21) Заявка № 2014153037/12(084816) (22) Дата подачи заявки 25.12.2014
(24) Дата начала отсчета срока действия патента 25.12.2014

ПРИОРИТЕТ УСТАНОВЛЕН ПО ДАТЕ
(22) подачи заявки 25.12.2014

(72) Автор(ы) Верстов В.В., Федулов Е.С., Шеховцов А.С., RU

(73) Патентообладатель(и) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет", RU

(54) Название изобретения СПОСОБ УСТАНОВКИ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ

(см. на обороте)

01	1	121305
----	---	--------

ВНИМАНИЕ! С целью исключения ошибок просьба проверить сведения, приведенные в заключении, т.к. они без изменения будут внесены в Государственный реестр изобретений Российской Федерации, и незамедлительно сообщить об обнаруженных ошибках.

Адрес для переписки с патентообладателем или его представителем, который будет опубликован в официальном бюллетене

указан на лицевой стороне бланка решения

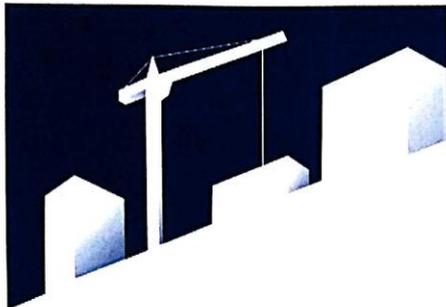
Адрес для направления патента

указан на лицевой стороне бланка решения

В результате экспертизы заявки по существу, проведенной в соответствии со статьей 1386 и пунктом 1 статьи 1387 Гражданского кодекса Российской Федерации, введенного в действие Федеральным законом от 12 марта 2014 г. № 35-ФЗ (далее - Кодекс), в отношении первоначальной формулы изобретения установлено соответствие заявленного изобретения требованиям статьи 1349 Кодекса, условиям патентоспособности, установленным статьей 1350 Кодекса, и соответствие документов заявки требованию достаточности раскрытия сущности изобретения, установленному пунктом 2 статьи 1375 Кодекса.

Формула изобретения приведена на странице(ах) 3.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Акт о производственной апробации разработанной ТЕХНОЛОГИИ



ЦЭиПСК

ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗЫ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**ООО «Центр экспертизы и проектирования
строительных конструкций» // ООО «ЦЭиПСК»**

ГЕНЕРАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Юридический адрес: 197136, г. Санкт-Петербург, Гатчинская
ул, 1/56, лит. А

Фактический адрес: 190005, г. Санкт-Петербург,
Измайловский пр. д.9/2;

Тел./факс: 575-47-16 Тел.раб: +7(921)7776409

E-mail: gip@gip.su ИНН 7813380577, КПП 781301001

Р/с 40702810390110000626

ПАО «Банк «Санкт-Петербург», г. СПб.

БИК 044030790 К/с 30101810900000000790

30.01.2016 № 208/01022016-II

(На № _____ от _____)

Информационное письмо о внедрении
новой технологии

Ученому секретарю
диссертационного совета СПбГАСУ

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Настоящим письмом сообщаем, что в соответствии с документом «Технологический регламент по устройству анкерных креплений в газобетонных несущих и ограждающих конструкциях методом нагнетания», разработанным аспирантом кафедры строительного производства СПбГАСУ Е.С. Федуловым, технические и технологические решения применены в проекте производства работ по титулу: «Рабочий проект на устройство навесных вентилируемых фасадов без утепления входной группы частного жилого дома, расположенного по адресу: Ленинградская область, п. г. т. Лебяжье, ТПЛХ «Авиатор», участок 208».

Внедрение новой технологии устройства анкерных креплений позволило обеспечить возможность крепления навесного вентилируемого фасада на газобетонное основание марки D400 без его дополнительного усиления, обеспечить повышенную несущую способность крепления, снизить металлоемкость возводимой конструкции на 14,9%, а стоимость на 9,5%.

С уважением,

Директор, к.т.н
ООО «Центр экспертизы и проектирования
строительных конструкций»

А.С. Шеховцов

Контактные данные
+7 921 777 64 09, gip@gip.su



ПРИЛОЖЕНИЕ В. Программа испытания кубов на сжатие

1. Испытания газобетонных кубов вести по ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам;
2. Разметить грани кубов газобетона, подлежащие приложению нагрузки прессы;
3. Снятие фактических размеров опорных граней ячеисто-бетонных блоков;
4. Замерить влажность газобетона прибором *Greisinger GMH 3830/6*;
5. Установить образцы под пресс испытательной машины *Instron 50* кН;
6. Зафиксировать максимальное значение разрушающей нагрузки F , кН;
7. Провести расчет прочности R , МПа газобетонных блоков по формуле

$$R = \alpha \frac{F}{A} K_w,$$

где A – площадь рабочего сечения образца, мм²;

F – разрушающая нагрузка, кН;

K_w – поправочный коэффициент для ячеистого бетона, учитывающий влажность в момент испытания;

α – масштабный коэффициент для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размера и формы;

8. Рассчитать среднюю прочность газобетона как среднеарифметическое прочностей каждого газобетонного куба.

ЖУРНАЛ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ ГАЗОБЕТОНА НА СЖАТИЕ

Таблица Д.1.

Марка газобетона	№ образца	Длина x ширина x высота, мм	A , мм ²	W , %	F , кН	α	K_w	R , МПа	$R_{ср}$, МПа
1	2	3		4	5	6		7	8
D400	89	97x99	9 603	10	27,565	0,95	1,00	2,727	2,513
	90	100x100	10 000	12	25,829	0,95	1,02	2,503	
	91	98x101	9 898	14	21,982	0,95	1,04	2,309	

Марка газобетона	№ образца	Длина х ширина х высота, мм	A , мм ²	W , %	F , кН	α	K_w	R , МПа	R_{cp} , МПа
1	2	3		4	5	6		7	8
D500	92	101x99	9 999	27	29,858	0,95	1,15	3,262	3,007
	93	101x102	10 302	30	25,248	0,95	1,15	2,677	
	94	99x100	9 900	25	27,948	0,95	1,15	3,084	

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Паспорта и сертификаты используемых газобетонных
элементов и компонентов клеевых композиций**



ООО "Аэрок Санкт-Петербург"

ГОСТ 31360-2007, ГОСТ 31359-2007

Технический паспорт № 13 685

Выдан 2015 октября 07

Наименование изделий	Блоки из газобетона AEROC EcoTerm Plus 300 (гл) Блок I /625*300*250/D300/B2,5 F50
Номер партии	193/15
Число /объем изделий, м3	1,875
Дата изготовления изделий	17.06.2015
Фактическая прочность бетона, МПа	2,20
(при фактическом коэффициенте вариации, %)	4,0%
Класс бетона по прочности при сжатии	B 2,0
Марка бетона по средней плотности	D 300
Паропроницаемость, мг(м*ч*Па)	0,26
Марка по морозостойкости	F 50
Коэффициент теплопроводности в сухом состоянии, Вт/(м*°C)	не более 0,072
Усадка при высыхании, мм/м	не более 0,5
Удельная эффективная активность естественных радионуклидов Аэфф, Бк/кг	не более 370
Группа горючести	НГ
Фактическая средняя плотность, кг/м3	319

Инженер по качеству



Агамальянц А.А.

Не подлежит обязательной сертификации

ООО «АЭРОК СПб» Россия, 193091, Санкт-Петербург, Октябрьская набережная, дом 40, литера А

тел.: +7 (812) 442 85 80, факс +7(812) 587 98 62

ИНН 7811142418, БИК 044030791ОКПО 15224739, ОКВЭД 26.61, р/с 40702810980000002882,

Филиал Удельный ОАО «Банк ВТБ Северо-Запад», к/с 30101810200000000791

ЗАО "ХИМЭКС Лимитед"



ПАСПОРТ № 345

Отвердитель
ТУ 2257-614-11131395-2006

Марка: ХТ-118 Б

Партия № 345 Количество мест 1 Вес нетто 200 кгДата изготовления 14 апреля 2015 г.

Наименование показателя	Норма	Результаты испытаний
1. Внешний вид	Прозрачная светло-желтая жидкость	<i>соотв.</i>
2. Амминое число, мг НС1/г мг КОП/г	423 - 553 650 - 850	<i>423 650</i>
3. Динамическая вязкость при температуре (25,0±0,1)°С, Па·с, не более	0,2	<i>0,01</i>

Начальник производства
ЗАО «ХИМЭКС Лимитед»

Л.Е. Федоров

" 14 " апреля 2015 г.Состояние тары и упаковки удовлетворительное.
Заключение: соответствует ТУ 2457-614-11131395-2006
Гарантийный срок хранения – 1 год.Начальник ОТК
ЗАО «ХИМЭКС Лимитед»

Г.А. Дольник

" 14 " апреля 2015 г.

ЗАО "ХИМЭКС Лимитед"

ПАСПОРТ № 505Смола эпоксидно-диановая
неотвержденная
ГОСТ 10587-84

Марка: ЭД-22

Партия № 505 Количество мест _____ Вес нетто 1500 кгДата изготовления "01" июня 2015 г.

Наименование показателей	Нормы ГОСТ Высший сорт ОКП 22 2511	Результаты испытаний
1. Внешний вид	Низковязкая прозрачная Без видимых механических включений и следов воды	<u>соотв в.</u>
2. Цвет по железокобальтовой шкале, не более	3	<u>1</u>
3. Массовая доля эпоксидных групп, %	22,1-23,6	<u>23,0</u>
4. Массовая доля иона хлора, %, не более	0,001	<u>0,001</u>
5. Массовая доля омыляемого хлора, %, не более	0,2	<u>0,2</u>
6. Массовая доля гидроксильных групп, %, не более	1,0	<u>0,1</u>
7. Массовая доля летучих веществ, %, не более	0,1	<u>0,1</u>
8. Динамическая вязкость, Па·с, при (25±0,1) °С	8-12	<u>9,8</u>
9. Время желатинизации, ч, не менее	18,0	<u>21,0</u>

Начальник производства
ЗАО «ХИМЭКС Лимитед»

"03" июня Л.Е. Федоров
2015 г.Состояние тары и упаковки удовлетворительное.
Заключение: соответствует ГОСТ 10587-84, изм. № 1
Гарантийный срок хранения – 1 год.Начальник ОТК
ЗАО "ХИМЭКС Лимитед"

Г.А. Дольник

"03" июня 2015 г.

ПАСПОРТ № 84
 СМОЛА ЭПОКСИДНО-ДИААНОВАЯ НЕОТВЕРЖДЕННАЯ
 МАРКИ ЭД-20
 ГОСТ 10587-84

Смола эпоксидно-диановая марки ЭД-20 используется в электротехнической, радиоэлектронной промышленности, авиа-, судо- и машиностроении, в строительстве в качестве компонента заливочных и пропиточных компаундов, клеев, герметиков, связующих для армирования пластиков.

Изготовлена
 на ЗАО "Завод органических продуктов" (г.Дзержинск)

Партия № 84 Дата изготовления 06.2015 г.
 Масса нетто партии 2500 кг Количество мест в партии 50 шт.
 Масса нетто единицы продукции 50 кг
 Смола эпоксидно-диановая упакована в барабаны

РЕЗУЛЬТАТЫ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
 (по испытательному листу № 84)

Наименование показателя	Требования по ГОСТ 10587-84		Данные анализа
	Норма для марки		
	Высший сорт ОКП 22 2511 0201	Первый сорт ОКП 22 2511 02 02	
1 Внешний вид	Вязкая прозрачная Без видимых механических включений и следов воды		Соот- ветству- ет
2 Цвет по железокобальтовой шкале, не более	3	8	<u>2</u>
3 Массовая доля эпоксидных групп, %	20,0-22,5	20,0-22,5	<u>22,5</u>
4 Массовая доля иона хлора, %, не более	0,001	0,005	<u>0,001</u>
5 Массовая доля омыляемого хлора, %, не более	0,3	0,8	<u>0,3</u>
6 Массовая доля гидроксильных групп, %, не более	1,7	-	<u>1,7</u>
7 Массовая доля летучих веществ, %, не более	0,2	0,8	<u>0,1</u>
8 Динамическая вязкость, Па·с, при 25 °С	13-20	12-25	<u>16,4</u>
9 Время желатинизации с отвердителем, ч, не менее	8,0		<u>8,0</u>



КОПИЯ ВЕРНА
 Подпись [подпись]

ПАСПОРТ № 642

ПОЛИЭТИЛЕНПОЛИАМИНЫ

ТУ 2413-646-11131395-2007 с изм. № 1

Партия № 642 Количество мест _____ Вес нетто 635 кгДата изготовления " 6 " мая 2015 г.

Наименование показателей	Норма ТУ Код ОКП 24 9460	Результаты испытаний
1. Внешний вид	жидкость от светло-желтого до темно-бурого цвета без механических включений	соответ.
2. Массовая доля общего азота, %, не менее	30	20,94 нм.
3. Массовая доля азота, гитруемого кислотой, %, в пределах	19,5 – 22,0	21,3
4. Отверждающая способность, мин. не более	120	95

Начальник производства _____

Чуев

Л.Е. Федоров

" 6 " мая 2015 г.

Состояние тары и упаковки удовлетворительное

Соответствует ТУ 2413-646-11131395-2007 с изм. № 1,2

Гарантийный срок хранения – 2 года.

Начальник ОТК _____

КОПИЯ ВЕРНА
подпись *W*

ПАСПОРТ № 642

ПОЛИЭТИЛЕНПОЛИАМИНЫ

ТУ 2413-646-11131395-2007 с изм. № 1

Партия № 642 Количество мест _____ Вес нетто 635 кгДата изготовления " 6 " мая 2015 г.

Наименование показателей	Норма ТУ Код ОКП 24 9460	Результаты испытаний
1. Внешний вид	жидкость от светло-желтого до темно-бурого цвета без механических включений	соответ.
2. Массовая доля общего азота, %, не менее	30	20,94 нм.
3. Массовая доля азота, гитруемого кислотой, %, в пределах	19,5 – 22,0	21,3
4. Отверждающая способность, мин. не более	120	95

Начальник производства _____ Л.Е. Федоров

" 6 " мая 2015 г.

Состояние тары и упаковки удовлетворительное

Соответствует ТУ 2413-646-11131395-2007 с изм. № 1,2

Гарантийный срок хранения – 2 года.

Начальник ОТК _____

КОПИЯ ВЕРНА
подпись _____

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Расчет прямых затрат на устройство навесного
вентилируемого фасада**

Сборник: ФЕР-2001-15 Отделочные работы, Обоснование: ФЕР15-01-064-01

Краткое имя: Облицовка стен фасадов зданий искусственными плитами типа "ФАССТ" на металлическом каркасе

Полное имя: Облицовка стен фасадов зданий искусственными плитами типа "ФАССТ" на металлическом каркасе

Единица измерения: 100 м2 поверхности облицовки

1-зона

<i>Виды затрат</i>	<i>Един. измер.</i>	<i>Затраты</i>
Прямые затраты	Руб.	22 710,51
Заработная плата рабочих	Руб.	2 597,40
Материалы	Руб.	20 036,94
Эксплуатация машин	Руб.	76,17
в т.ч. заработная плата машинистов	Руб.	5,99
Затраты труда рабочих	Чел-Ч	270
Затраты труда машинистов	Чел-Ч	1,07
Средний разряд рабочих		4

Материалы

<i>Наименование</i>	<i>Кол-во</i>	<i>Един. измер.</i>	<i>Стоимость</i>
Болты анкерные оцинкованные	47,5	кг	0,00
Винты самонарезающие для крепления профилированного настила и панелей к несущим конструкциям	0,013	т	35 011,00
Плиты облицовочные типа "ФАССТ" в комплекте с планками заполнения стыков	105	м2	5,71
Профили стальные оцинкованные в комплекте с направляющими и стоечными	0,61	т	0,00
Резина губчатая	7,6	кг	51,98

Механизмы

<i>Наименование</i>	<i>Кол-во</i>	<i>Един. измер.</i>	<i>Стоимость</i>
Автомобили бортовые грузоподъемностью до 5 т	0,61	маш.-ч	75,40
Дрели электрические	6,2	маш.-ч	1,95
Перфораторы электрические	8	маш.-ч	2,08
Подъемники мачтовые строительные 0,5 т	0,46	маш.-ч	59,71

Состав работ

<i>Наименование</i>
1. Разметка поверхности
2. Крепление к стене направляющих и закрепление стоечных профилей
3. Сверление отверстий для дополнительного крепления плит анкерами
4. Установка анкеров
5. Установка облицовочных плит
6. Установка планок между вертикальными и горизонтальными стыками плит

ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Технологический регламент

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО - СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

«СОГЛАСОВАНО»

Директор ООО «Центр экспертизы и
проектирования строительных
конструкций»

_____ А.С. Шеховцов

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
СПбГАСУ, д.э.н., профессор

_____ Е.Б. Смирнов

«__» февраля 2016 г.

«__» февраля 2016 г.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ ПО УСТРОЙСТВУ АНКЕРНЫХ
КРЕПЛЕНИЙ В ГАЗОБЕТОННЫХ НЕСУЩИХ И ОГРАЖДАЮЩИХ
КОНСТРУКЦИЯХ МЕТОДОМ НАГНЕТАНИЯ**

Заведующий кафедрой строительного
производства, д.т.н., профессор
Научный руководитель, д.т.н.,
профессор
Разработчик, аспирант кафедры
строительного производства

_____ А.Ф. Юдина

_____ В.В. Верстов

_____ Е.С. Федулов

Санкт-Петербург

2016

СОДЕРЖАНИЕ

- 1.1. Содержание;
- 1.2. Общие положения;
- 1.3. Область применения и эффективность устройства анкерных креплений методом нагнетания;
- 1.4. Расчетная оценка несущей способности анкерных креплений, установленных методом нагнетания в базовые поризованные конструкции;
- 1.5. Применяемое оборудование, материалы, их характеристики;
- 1.6. Последовательность производства работ;
- 1.7. Рациональные параметры производственных процессов;
- 1.8. Методы контроля качества производимых работ;
- 1.9. Расчет производительности труда при устройстве анкерных креплений;
- 1.10. Правила техники безопасности.

2. Общие положения.

- 2.1. Настоящий технологический регламент устанавливает порядок применения положений по организации и технологии производства работ по установке анкерного крепления в газобетонные несущие и ограждающие конструкции методом нагнетания, а также достижение требуемой несущей способности анкерного крепления.
- 2.2. Стандарт разработан в соответствии со СНиП 10-01-94 «Система нормативных документов в строительстве» в развитие глав СНиП 2.09.03 "Сооружения промышленных предприятий", «Методика расчета усилий выдергивания профилированных канальных и бесканальных анкеров из автоклавного газобетона».
- 2.3. Стандарт распространяется на устройство анкерных креплений в базовые поризованные материалы несущих и ограждающих конструкций методом нагнетания с использованием пневматической компрессорной установки и дюбелем специальной конструкции.
- 2.4. Персонал, выполняющий работу и обслуживающий машины, должен обладать соответствующей квалификацией и быть обучен.

3. Область применения и эффективность устройства анкеров методом нагнетания

- 3.1. Способ применим для устройства анкерных креплений в газобетонные основания, используемые в качестве несущих, самонесущих, ненесущих, ограждающих конструкциях жилых, общественных, производственных зданий вертикальной, наклонной или горизонтальной ориентации.
- 3.2. В качестве оснований допускается использование газобетонных элементов или кладки. Плотность газобетона должна быть от 300 до 500 кг/м³.
- 3.3. В качестве нагнетаемого строительного состава допускается использование клеевой композиции на основе эпоксидно-диановых смол с неагрессивными по отношению к бетонам добавками.
- 3.4. При выполнении дополнительных научных изысканий возможно расширение области применения разработанной технологии.

3.5. Эффективность и окупаемость внедряемой технологии обеспечивается комплексным сокращением трудозатрат и материалоемкости несущей подсистемы при креплении конструкций и инженерных систем различного назначения.

3.6. Трудозатраты на устройство 100 шт. анкерных креплений по внедряемой технологии составляют 185 чел-час и выполняются звеном монтажников из двух человек.

4. Указания к проектированию строительных конструкций, крепление которых производится с помощью внедряемой технологии

4.1. Обеспечить нормальное (осевое) направление передачи нагрузки на анкерное крепление.

4.2. Передача поперечной составляющей нагрузки и момента возможно после проведения дополнительных испытаний.

4.3. При проектировании провести дополнительные расчеты по устойчивости стеновой конструкции и отдельного блока на вырыв из кладки. Предусмотреть, в случае необходимости, дополнительные мероприятия по усилению кладки стеновой конструкции.

4.4. Влиянием теплотехнических характеристик нагнетаемой клеевой композиции в стеновой конструкции допускается пренебречь.

4.5. Краевое расстояние до угла стены (или конструкции) принять не менее 100 мм.

4.6. При попадании установки анкерного крепления в кладочный раствор предусмотреть проектом обязательные испытания анкеров на вырыв по СТО ФЦС – 44416204-09-2010.

4.7. Режимы нагнетания принять согласно оптимальным режимам, приведенным в данном технологическом регламенте.

4.8. Значение расчетной несущей способности для анкеров, установленных методом нагнетания допускается принять согласно следующей таблице А-1.

Значение несущей способности анкерных креплений в зависимости от режимов нагнетания

№ п/п	Режим нагнетания	Значение несущей способности, кН
1	2	3
1	D300-ЭД22-3-15 (газобетон марки D300, клеевая композиция на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-22, значение избыточного давления нагнетания 3 атм., время нагнетания 15 с)	0,6
2	D400-ЭД22-3-15 (газобетон марки D400, клеевая композиция на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-22, значение избыточного давления нагнетания 3 атм., время нагнетания 15 с)	1,1
3	D500-ЭД22-6-60 (газобетон марки D500, клеевая композиция на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-22, значение избыточного давления нагнетания 6 атм., время нагнетания 60 с)	1,25

4.9. Допускается передача 20% расчетной нагрузки на анкерное крепление сразу после установки анкерного крепления.

4.10. Нагружение анкера расчетной нагрузкой производить после набора 100% прочности клеевой композиции, но не менее, чем через 24 ч.

4.11. Работы и отверждение производить при температуре не менее + 15°C.

4.12. Работы в зимних условиях производить после дополнительного научного обоснования (обратиться к разработчику настоящего руководства).

4.13. При проектировании предусмотреть установку специальных кронштейнов (например, в виде шайбы с двумя пазами, расплoжёнными на вертикальных пластинах), с целью обеспечения возможности временного крепления адгезиметра.

5. Применяемое оборудование, материалы, их характеристики

5.1. Базовыми несущими и ограждающими материалами принять газобетонные элементы марок D300, D400, D500 по ГОСТ 31360-2007, 31359-2007;

5.2. Полое удерживающее устройство в виде модернизированного дюбеля *Sormat kbt 6*. (см. рисунок А-1);

- 5.12. Эпоксидно-диановая смола ЭД-22, отвердитель ХТ-1186;
- 5.13. Шурупы универсальные d5,0 мм или d6,0 мм;
- 5.14. Оборудование для измерения усилия вырыва и перемещения анкера (например, адгезиметр).

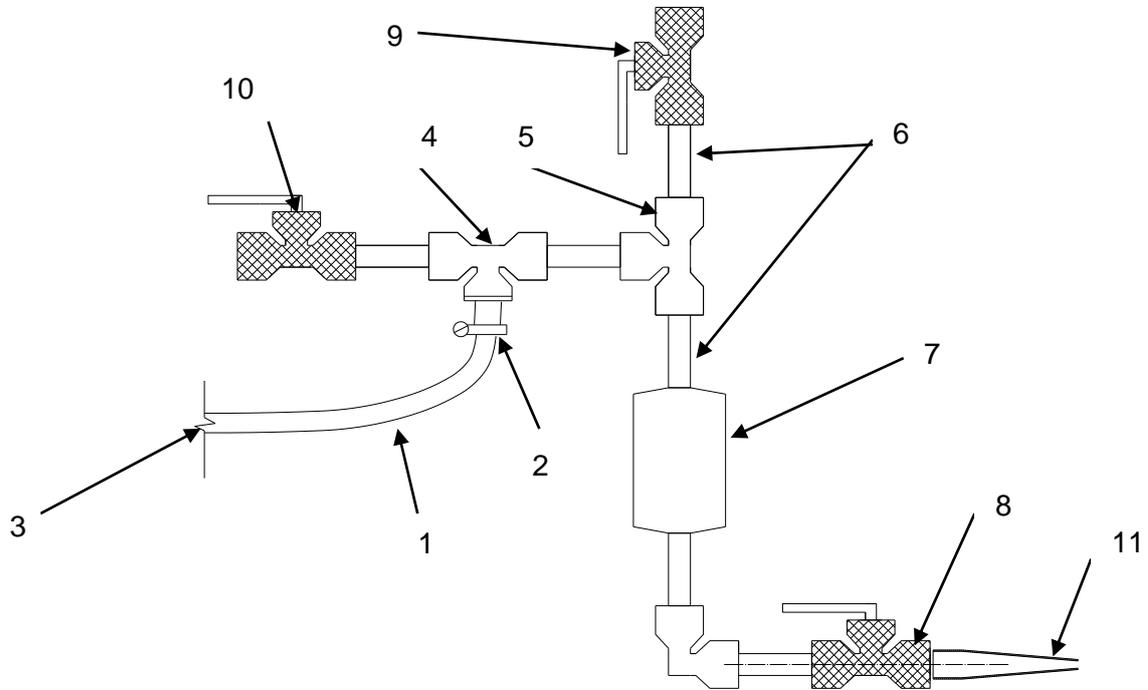


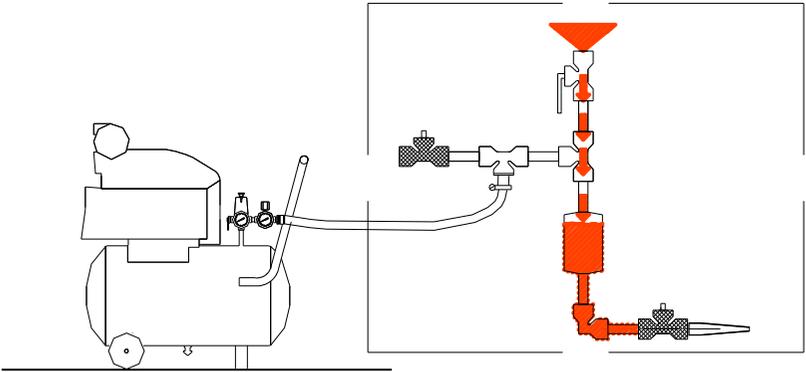
Рис. А-2. Конструктивная схема нагнетательной установки (без подключенного компрессора).

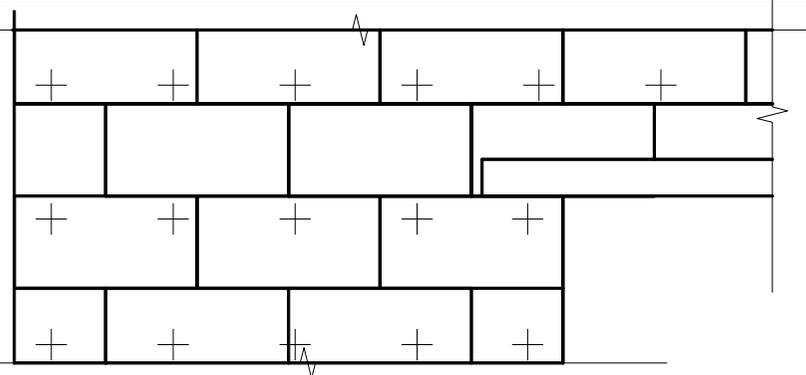
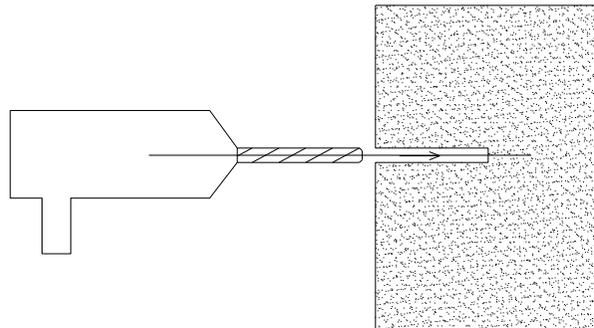
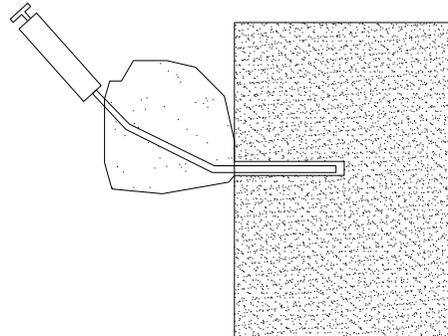
- 1 – полый гибкий патрубкок; 2 – хомут обжимной; 3 – подключение компрессорной установки;
- 4 – тройник с переходом на «елочку»; 5 – тройник соединительный; 6 – полые полимерные трубы (под сварку); 7 – промежуточная емкость для увеличенного объема клеевой композиции;
- 8 – запорная арматура для регулирования подачи клеевой композиции; 9 – запорная арматура, предназначенная для загрузки клеевой композиции; 10 – запорная арматура для спуска избыточного давления в системе; 11 – уплотнительное покрытие (например, из ленты ФУМ)

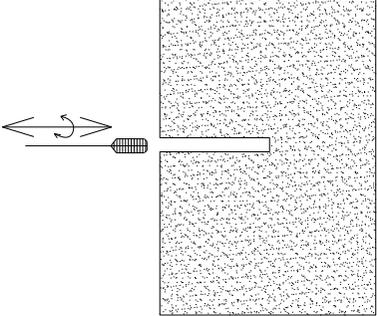
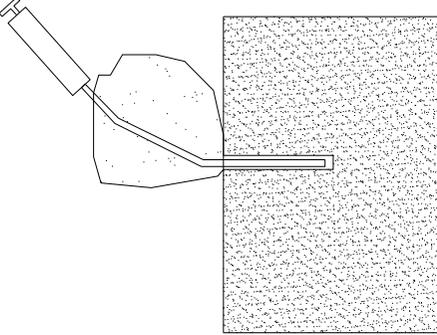
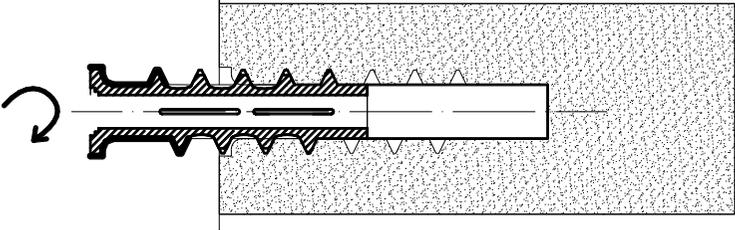
6. Последовательность производства работ

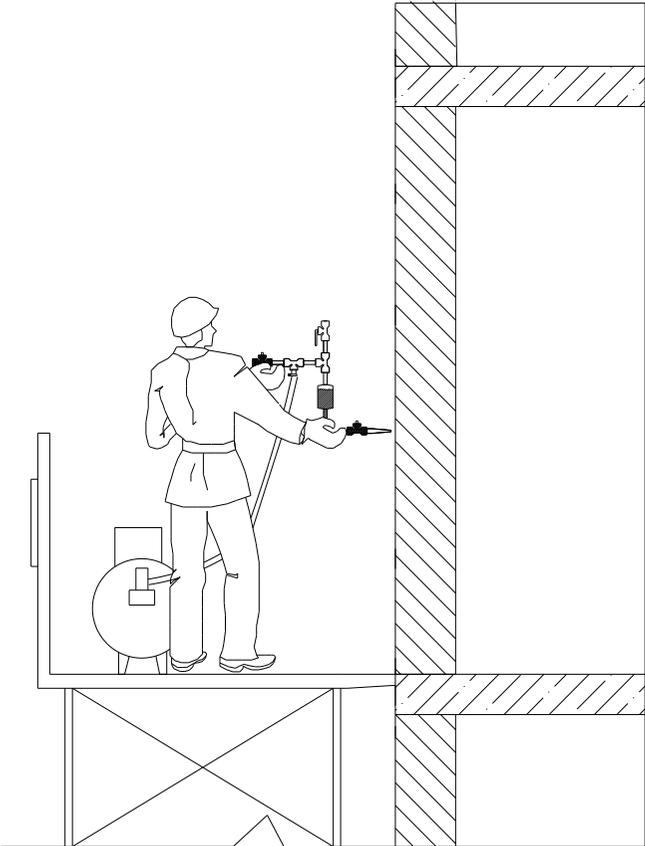
Таблица А-2

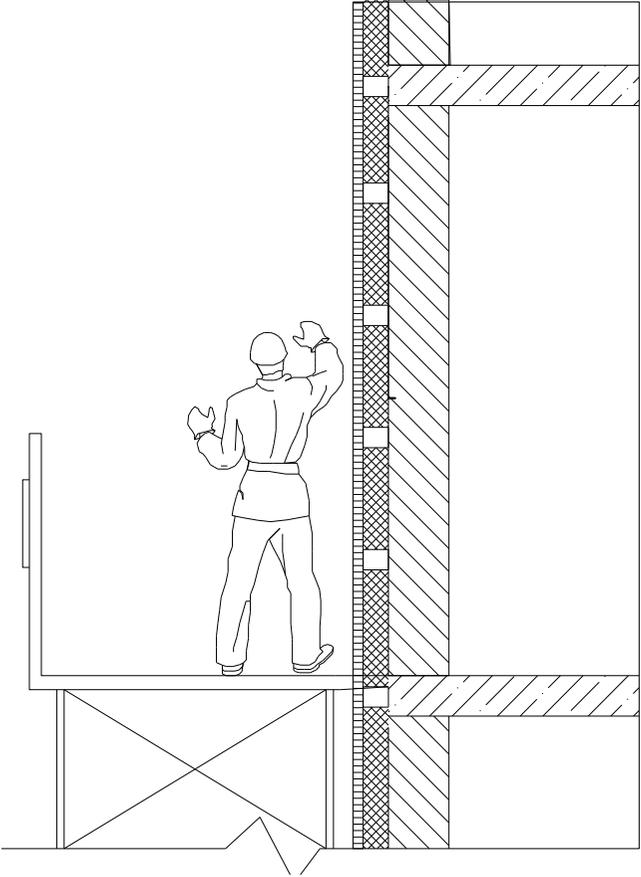
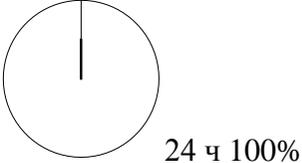
Технология устройства анкерного крепления на базовые пористые материалы методом нагнетания

№ п/п	Описание технологического процесса	Графическое представление
1	2	3
1	<p>Приготовление клеевой композиции. Смешивают компонент А – эпоксидно-диановая смола ЭД-22 – 100 частей и компонент Б – отвердитель ХТ-1186 – 25 частей, затем перемешивается в течение 10 мин либо вручную, либо механизированным способом. Время жизнеспособности смеси 3-5 ч в зависимости от температурно-влажностного режима</p>	<p>ЭД-22 – 100 частей</p> <p>/</p> <p>ХТ-1186 – 25 частей</p>
2	<p>Загрузку клеевой композиции в нагнетательную установку производят через воронку. Промежуточную емкость наполняют клеевой композицией из расчета 10 см³ (10 г) на 1 устанавливаемый анкер – модернизированный дюбель <i>Sormat kbt 6</i></p>	

№ п/п	Описание технологического процесса	Графическое представление
1	2	3
3	разметку основания проводят любым возможным и доступным способом	
4	отверстие устраивают на длину дюбеля <i>Sormat kbt 6</i> плюс 1 см с помощью дрели или перфоратора сверлением без удара. Диаметр отверстия принимается равным наружному диаметру дюбеля, а именно 10 мм. При сверлении контролируют расположение устраиваемого отверстия в плановом отношении, вертикальность и глубину его устройства	
5	продувку отверстия проводят либо с помощью автономного ручного насоса с полым патрубком, который вводится до наиболее удаленной точки от поверхности, либо с помощью компрессорной установки	

№ п/п	Описание технологического процесса	Графическое представление
1	2	3
6	<p>прочистку отверстия осуществляют с помощью стальной щетки поступательно-вращательными движениями</p>	
7	<p>Выполняют повторную продувку</p>	
8	<p>Установку модернизированного дюбеля <i>Sormat kbt 6</i> выполняют закручиванием либо с помощью отвертки, либо шестигранного ключа, либо специального установочного инструмента <i>Sormat</i>. Завинчивание производят до тех пор, пока голова дюбеля плотно не ляжет к лицевой стороне газобетонного элемента</p>	

№ п/п	Описание технологического процесса	Графическое представление
1	2	3
9	<p>Временная установка сопла нагнетательной установки в голову модернизированного дюбеля <i>Sormat kbt 6</i>. Герметичность обеспечить физическим усилием рабочего. Подать подготовленную и загруженную клеевую композицию в установку под избыточным давлением и в течение различного времени согласно выбранному техническому режиму (выбор оптимального технологического режима вести по п.7 настоящего руководства). Отсоединить сопло нагнетательной установки от головы модернизированного дюбеля <i>Sormat kbt 6</i>.*</p> <p><i>Примечание. Нагнетание может производиться после установки строительной конструкции в проектное положение</i></p>	

№ п/п	Описание технологического процесса	Графическое представление
1	2	3
10	<p>Установить несущую конструкцию в проектное положение. Выполнить закрепление несущей конструкции с помощью шурупа, либо самореза, либо шпильки. Допускается передать на анкерное крепление 20% от расчетной несущей способности</p>	
11	<p>Нагружение анкера расчетной нагрузкой производить после набора 100% прочности клеевой композиции, но не менее, чем через 24 ч</p>	

7. Рациональные параметры производственных процессов

7.1. При включении в проект возможно использовать сокращения технологических параметров согласно следующей логике:

D300-ЭД22-3-15,

где значение на 1-ом участке – марка пористого основания, в которое проводилась установка анкера методом нагнетания; значение на 2-ом участке – сокращённое наименование клеевой композиции; значение на 3-ем участке – значение избыточного давления в атмосферах; значение на 4-ом участке – время нагнетания в секундах.

7.2. При включении в проект принять технологические параметры нагнетания по табл. А-3.

Таблица А-3

Время, затрачиваемое выполнение отдельных технологических операций

Марка газобетона	Клеевая композиция	Значение избыточного давления, атм.	Время нагнетания, с
1	2	3	4
D300	эпоксидно-диановая смола ЭД-22, отвердитель ХТ-118б	3	15
D400	эпоксидно-диановая смола ЭД-22, отвердитель ХТ-118б	3	15
D500	эпоксидно-диановая смола ЭД-22, отвердитель ХТ-118б	6	60

8. Трудоемкость выполнения работ по установке анкерных креплений методом нагнетания в газобетонные элементы

8.1. Трудоемкость выполнения работ по установке анкерных креплений методом нагнетания в газобетонные элементы составляет 46,6 чел.*час/ 100 ед. анкерных креплений. Рекомендуемое звено – 2 рабочих.

8.2. В целях более гибкого расчета трудозатрат на устройство анкерных креплений возможно использовать, дополнять и изменять табл. А-4 при включении в проект при соответствующем обосновании.

Таблица А-4

Время, затрачиваемое выполнение отдельных технологических операций

Наименование операции	Время, необходимое на проведение технологической операции, в пересчете на один анкер, мин
<i>1</i>	<i>2</i>
Модернизированный дюбель Sormat kbt 6 с установкой методом нагнетания	
1. Приготовление клеевой композиции	2
2. Разметить основание	3
3. Загрузить клеевую композицию в рабочую емкость	3
4. Устроить цилиндрическое отверстие	1
5. Продуть отверстие	1
6. Установить дюбель	1
7. Выполнить нагнетание клеевой композиции в течение 15-60 с	2
8. Зафиксировать строительную конструкцию	3
Итого:	16

9. Методы контроля качества производимых работ

- 9.1. Контроль качества включает в себя входной, операционный и приемочный контроль.
- 9.2. Контроль осуществляется лицом, назначенным ответственным за производство работ.
- 9.3. Входной контроль материалов и приемочный контроль качества устройства анкеров методом нагнетания в газобетонные элементы организовать по СП 48.13330.2011 «Организация строительства».
- 9.4. В ходе установки анкерных креплений в газобетонные элементы несущих и ограждающих конструкций, они, как и другие анкерные крепления, подвергаются контролю:
- вертикальность устроенного отверстия с помощью угольника и вертикального стержня;
 - диаметр устроенного отверстия, с помощью линейки с миллиметровыми делениями;
 - глубина отверстия с помощью щупа.
- 9.5. Перед загрузкой клеевой композиции в нагнетательную установку проверить визуально её гомогенность, однородность, отсутствие посторонних включений. Отлить балочки из клеевой композиции по

принципиальной конструктивной схеме на рис. А-3. Габариты данных балочек уточнить в лаборатории, которая проведет их испытания по [107] на разрыв.

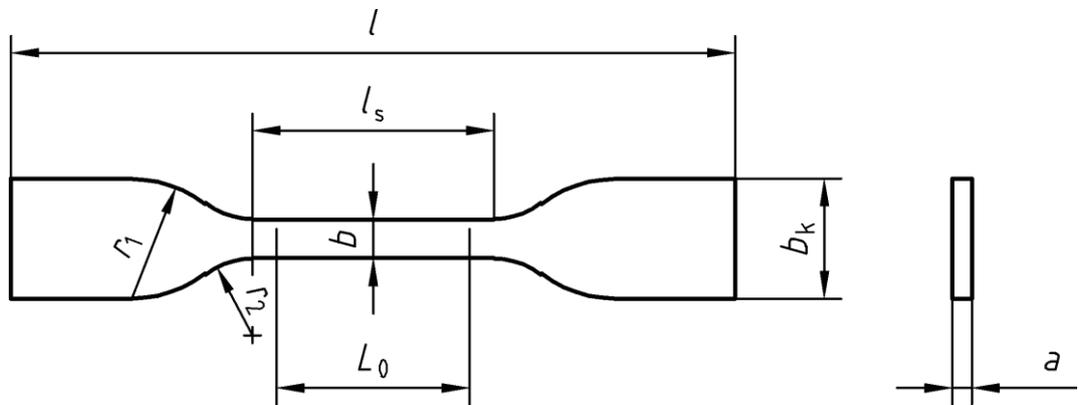


Рис. А-3. Конструктивная схема клеевой балочки, испытываемой на разрыв

- 9.6. Установить факт выполнения требований режима нагнетания в части давления и времени приложения избыточного давления возможно по наличию пропитанной клеевой композицией приконтактной зоне на лицевой поверхности газобетона;
- 9.7. Установить факт, того, что нагнеталась именно клеевая композиция возможно через 24 ч после её нагнетания. Физическим усилием рабочего раскрутить установленное анкерного крепление не представляется возможным.
- 9.8. При установке несущих конструкций в проектное положение предусмотреть также установку специальных кронштейнов (например, в виде шайбы с двумя пазами, расплoжёнными на вертикальных пластинах) с целью обеспечения возможности временного крепления адгезиметра. Конструкцию специальных кронштейнов уточнить в ППР.
- 9.9. В целях контроля несущей способности нагрузить анкерное крепление 100% от расчетной нагрузки в течении 60 с и зафиксировать деформацию анкерного крепления. В остальном провести испытания согласно СТО НОСТРОЙ 2.14.96-2013. «Системы фасадные. Навесные фасадные системы с воздушным зазором. Монтаж анкерных креплений. Правила, контроль выполнения и требования к результатам» от общего количества анкеров

расчетной нагрузкой по Стандарт ФЦС - 44416204-09-2010. «Крепления анкерные. Метод определения несущей способности анкеров по результатам натуральных испытаний».

10. Правила техники безопасности

- 10.1. Складировать и хранить материалы, изделия, оборудование и элементы технологической оснастки следует в соответствии со СНиП 12-03-2001, ГОСТ 12.3.009-76*, а также в соответствии с требованиями безопасности, изложенными в технических материалах и технических условиях на конкретное оборудование.
- 10.2. Электробезопасность на строительной площадке и участках работ должна обеспечиваться в соответствии с ПОТ РМ-016-2001 «Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок». Лица, обслуживающие электроустановки, должны быть обучены и аттестованы по квалификационной группе техники безопасности.