

Для решения поставленных задач использовались следующие методы: эмпирического уровня (сравнение, группировка), экспериментально-теоретического уровня (эксперимент, лабораторный опыт, моделирование, вычисление), теоретического уровня (обобщение, анализ).

Научная новизна. Научная новизна работы заключается:

- в нахождении закономерности контактных взаимодействий между бетоном и опалубкой, при изменении различных факторов, включая класс бетона, марку цемента, использование смазок и температурный режим;
- в нахождении уравнений-полиномов, обеспечивающих вычисление усилия отрыва, при варьировании факторами, влияющими на сцепление;
- в практическом обосновании эффективности антиадгезионных смазок «Румас-1», «Полипласт Форм тип 3».

Практическая значимость. Практическая ценность исследований состоит в предотвращении преждевременного износа опалубок, в повышении их долговечности и оборачиваемости, а также снижении трудоемкость демонтажа опалубочных систем, за счет регулирования рассматриваемых факторов влияния на сцепление бетонной смеси и опалубки.

На защиту выносятся следующие положения:

- состояние вопроса и задачи исследования;
- методика определения разделительных свойств пары «бетон-опалубка»;
- экспериментальные исследования зависимости изменения прочности сцепления контакта опалубки и бетона от класса бетона, марки цемента, использования смазки и изменения температурного режима;
- графическое представление результатов эксперимента, их анализирование и выделение особенностей;
- экономическая эффективность используемых антиадгезионных смазок.

Объем и структура работы. Выпускная квалификационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения, списка использованной литературы, включающего 21 источник. Работа включает 82 листа машинописного текста, содержит 28 таблиц, 15 рисунков, 9 формул, 13 графиков.

| | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Основы теории адгезии и сцепления между бетоном и опалубочными материалами

Сцепление можно определить, как явление межфазного взаимодействия двух поверхностей различных по своей природе фаз, приведенные в контакт.

В теории адгезии анализируют взаимодействие двух тел: адгезива (элемент первой фазы) и субстрата (элемент второй фазы). При взаимодействии поверхностей: твердое тело – жидкость, адгезивом будет являться подвижный компонент жидкой фазы, который взаимодействует с твердым телом. Неподвижная поверхность – твердое тело, является субстратом. В технической литературе часто под адгезивами подразумевают клеи.

Явление, противоположное адгезии – когезия. Данное явление представляет собой результат функционирования сил притяжения между частицами, в объеме конденсированной фазы.

От адгезии необходимо отличать адгезионную прочность. Адгезионная прочность – это работа, которая необходима для разрушения адгезионного контакта.

Адгезионная прочность состоит из разъединения межмолекулярных связей и работы деформации элементов адгезионного соединения. Чем крепче адгезионное соединение, тем больше деформирование взаимодействующих поверхностей, следовательно, деформация может быть больше, чем работа адгезии.

В настоящий момент присутствует ряд взглядов и теории (таблица 1), трактующих адгезию, сцепление с различных позиций [1].

| | | | | | | | | |
|--------------|--------------|------|------|----------|-------|------|----------------------|------|
| Инв. № подл. | Подл. и дата | Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | 08.04.01-2017-639-ПЗ | Лист |
| | | | | | | | | 7 |
| Инв. № дубл. | Взам. инв. № | | | | | | | |
| Подл. и дата | Подп. и дата | | | | | | | |

| | | |
|--|--|---|
| | <p>связанность работы сцепления со скоростью разделения склейки.</p> <p>Данная связь обосновывается зависимостью разрывной устойчивости модели полимера от скорости разрыва.</p> | |
| <p>Микровзаимодействие поляризационных сил (Дейброн)</p> | <p>Данная теория отображается правилом Дебройна. По правилу Дебройна, высокое сцепление осуществимо, когда обе фазы являются полярными или неполярными, и затруднено сцепление, когда фазы различны.</p> | <p>Принцип Дебройна осуществляется только при низких температурах. При высоких температурах это условие не обязательно, так как основную роль играет энтропия, а не внутренняя энергия.</p> |
| <p>Термодинамическая модель сцепления (Доломатов, Тимофеева)</p> | <p>В термодинамической модели сцепления наружная поверхность адгезива рассматривается как не идеальный двумерный газ.</p> <p>Процесс сцепления рассматривается как изобарное изотермическое расширение газа в поле вон-дер-ваальсовых сил субстрата, а также химических сил. Предусматривается, что в следствии расширения газа, насыщаются поры наружной поверхности субстрата.</p> | <p>Отсутствует различие адгезии от адгезионной прочности. Применение лимитировано жидкими многокомпонентными системами, такими как нефтяные дисперсные растворы и растворы полимеров.</p> |

| | |
|--------------|--------------|
| Изн. № подл. | Подп. и дата |
| Изн. № дубл. | Взам. инв. № |
| Изн. № подл. | Подп. и дата |
| Изн. № подл. | Подп. и дата |

| | | | | |
|------|------|----------|-------|------|
| Изн. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

08.04.01-2017-639-ПЗ

Процесс возникновения сцепления обычно подразделяется на 2 стадии. Первая стадия, именуемая транспортной, предполагает передвижение молекул адгезива (связующего) к наружной поверхности субстрата (материал, на который наносится адгезив), а также их ориентация в межфазном слое. В итоге возникает тесный контакт между молекулами субстрата и адгезива. Процессу первой стадии содействуют увеличение давления, температуры. Более тесное контактирование поверхностей достигается после их очистки.

Вторая стадия подразумевает взаимодействие адгезива и субстрата, обусловленное разными силами, такими как химические, ван-дер-ваальсовы. Силы ковалентных соединений функционируют между молекулами, расстояние которых не больше 0,5 нм. Ван-дер-ваальсовы силы обнаруживаются на расстояниях 1-100 нм. Исходя из этого, можно заметить необходимость первой стадии. Взаимодействием фаз завершается образование сцепления, что сочетается с минимальным значением поверхностной энергии. На этой стадии формируется затвердевание адгезива [2].

Значение взаимодействия выражается в зависимости сцепления от структурных групп молекул адгезива. Данный факт установлен в работах Притыкина Л.М., который установил, что каждая структурная группа привносит четко определенный вклад в энергию сцепления. Кроме этого, сцепление обуславливается природой субстрата, так медь по сравнению со свинцом имеет большую прочность к металлическому субстрату.

Адгезию и адгезионную прочность можно оценить значениями работы и силы. Для адгезионной прочности нет единого показателя, она фиксируется различными способами.

Выделяют несколько типов отрыва:

1. Адгезионный отрыв. При данном виде отрыва осуществляется полное разрушение склейки адгезива от субстрата.
2. Когезионный отрыв. Отслаивание происходит по адгезиву или по субстрату.

| | |
|--------------|--|
| Инт. № подл. | |
| Подл. и дата | |
| Инт. № дубл. | |
| Взам. инв. № | |
| Подл. и дата | |

3. Смешанный отрыв. Происходит частичное отслаивание склейки, по месту первичного контакта.

Главные трудности оценки сцепления заключаются в том, что значение адгезионной прочности значительно обусловлено методами отрыва и размерами отрываемых материалов. Ввиду этого адгезионная прочность пары «адгезив-субстрат» может иметь различные значения, зависящие от толщины слоя, от скорости отрыва, от направления силы отрыва и от ряда других факторов [1].

| | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|----------|-------|------|----------------------|--------------|--|--|--|--------------|------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | | | | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | | | | Подп. и дата | |
| | | | | | | | | | | | |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | 08.04.01-2017-639-ПЗ | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | | 12 |

1.2 Влияние различных факторов на силы адгезии

Влияние качества бетона на сцепление опалубки с бетоном.

Данные о сцеплении двух классов бетона В7,5 и В20 с различными материалами палубы предоставлены в таблице 2 (согласно СНиП 3.03.01-87) [3].

Таблица 2 – Нормативная нагрузка сцепления бетона с опалубкой

| Материал палубы | Нормативная нагрузка сцепления, кПа | | | | | |
|---|---|---------|---------|--------------------------|---------|----------|
| | при нормальном отрыве | | | при отрыве под углом 45° | | |
| | Продолжительность констатирования бетона с опалубкой, ч | | | | | |
| | 12 | 24 | 72 | 12 | 24 | 72 |
| 1. Сталь | 4,8/6,2 | 5,5/7,6 | 11,7/13 | 5,8/7,4 | 6,5/8,3 | 15,3/7,1 |
| 2. Текстолит | 1/1,6 | 2,5/2,9 | 3,3/3,6 | 2/2,7 | 3,8/4,1 | 5,6/6 |
| 3. Стеклопластик | 1,7/3,1 | 2,8/3,6 | 5,9/7,7 | 2,7/4 | 4,5/6,3 | 7/9,1 |
| 4. Фанера без покрытия | 3,9/5,4 | 6,4/8,2 | 7,5/11 | 4,7/6,9 | 7/9,5 | 12/15 |
| 5. Фанера с защитной фенолформальдегидной пленкой | 2,5/4 | 3,8/5,1 | 4,5/6 | 4/5,8 | 6/7,5 | 9/12 |

* Перед чертой – значение для бетона класса В7,5, после черты – значение для бетона класса В20.

Анализ выше представленной таблицы позволяет сделать вывод: чем выше класс бетона, тем значение нормативной нагрузки сцепления при отрыве больше. Объяснить это можно тем, что на силы сцепления оказывают влияние усадка, шероховатость, пористость, прочность бетона, а бетон более высокого класса имеет более высокие прочностные и другие характеристики. Многообразие классов бетона не позволяет данное предположение сделать утверждением на основании значений для двух классов бетона. Для того, чтобы это подтвердить и

Изм Лист № докум. Подп. Дата

| | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

08.04.01-2017-639-ПЗ

Лист

13

изучить зависимость сцепления бетона с опалубкой от используемого класса бетона необходимо определить нагрузку сцепления для других классов бетона.

Влияние качества цемента на прочность связи между бетоном и опалубкой.

Влияние на адгезию и силы сцепления бетона с опалубочными материалами оказывает качество применяемого цемента (рисунок 1).

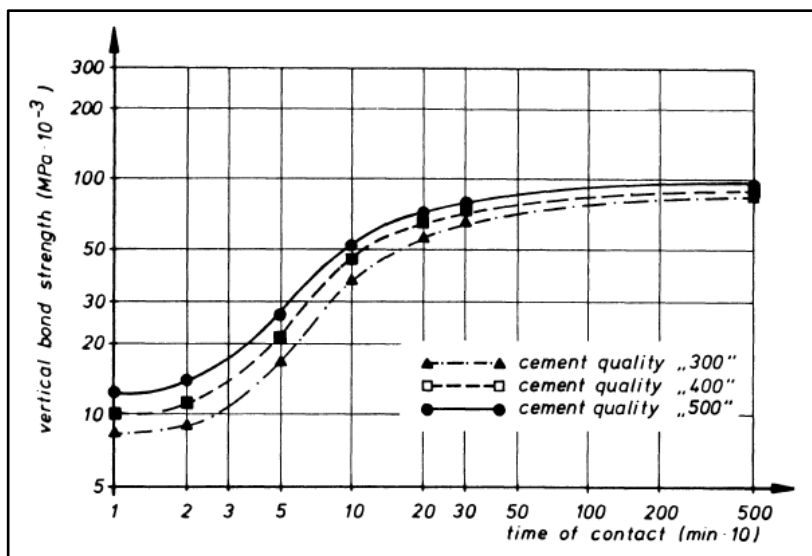


Рисунок 1 – Влияние качества цемента на прочность связи между бетоном и сталью

Взаимодействие бетона с опалубкой основано на физико-химическом взаимодействии микроструктуры цементного теста с поверхностью опалубки. Известно, что возникновение контактной зоны между двумя различными материалами представляет собой результат проникновения молекул одного материала в поверхность другого, в следствии «броуновского» движения. В связи с этим механическую составляющую прочности связи можно определить от сцепления микроструктур в точках соприкосновения. Цемент условно подразделяется на марки, начиная от М-100, заканчивая М-600. И каждая марка цемента имеет свои характеристики плотности, прочности, что и оказывает влияние на прочность связи пары «бетон-опалубка» и соответственно на значение отрыва данных материалов [4].

| | | | | |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | | |

Влияние применения антиадгезионных смазок на сцепление бетона с опалубочными материалами.

Смазки для опалубочных материалов можно классифицировать на четыре основные группы:

- водные суспензии,
- смазки гидрофобизирующие,
- смазки – замедлители схватывания,
- смазки комбинированные.

Водные суспензии порошкообразных веществ представляют собой простой, дешевый инструмент для предотвращения прилипания бетона к опалубочному материалу, но при этом является не всегда эффективным. Принцип действия суспензий: в результате улетучивания воды из материала до бетонирования, на наружной поверхности опалубки возникает тонкая защитная пленка, которая и препятствует прилипанию бетона.

Самые распространенные гидрофобизирующие смазки изготовлены на базе солей жирных кислот, эмульсола или минеральных масел. Впоследствии покрытия формирующей поверхности опалубки возникает гидрофобная пленка из ряда упорядоченных молекул, уменьшающая контактное взаимодействие бетона и опалубки. Недостатками данных смазок являются высокая стоимость, пожароопасность и загрязнение наружной поверхности бетона.

Третий вид смазок основан на замедленном схватывании бетона в тонких стыках. В состав данных смазок вводят танин, мелассу и др. вещества. Недостатком таких смазок является сложность корректировки толщины слоя бетона.

Наиболее используемыми являются смазки комбинированные. Они используются на основе свойств поверхностей опалубки в комбинации с замедленным схватыванием бетона в пристыковых слоях. Данные смазки изготавливают в виде обратных эмульсий, в некоторые из них вводят пластифицирующие добавки, такие как мылонафт, сульфитно-дрожжевую

| | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |

барду. Эти вещества пластифицируют бетон, и при виброуплотнении уменьшают его пористость [5].

Далее рассмотрим некоторые виды применяемых смазок.

Смазка для форм и опалубки «Полипласт Форм тип 3» по ТУ 0258-038-58042865-2009.

Смазка является универсальным материалом, изготовленным на базе селективно обработанного масла, с введенными в него высокоактивными пленкообразующими присадками, включая парафин.

Внешний вид смазки: маслянистая жидкость, с допустимым осадком, желтого цвета.

Данная смазка применяется для вертикальных и горизонтальных опалубочных материалов разных видов форм (деревянные, металлические формы, ламинированная фанера, пористые формы и т.д.). Она легко наносится и легко разравнивается после нанесения, в своем составе не содержит растворителей.

Универсальная смазка Полипласт Форм тип 3 обеспечивает:

- безукоризненную чистоту наружной поверхности бетона,
- коррозионную сохранность форм,
- быстрый и легкий демонтаж опалубки,
- очищение форм от прилипшего ранее бетона,
- исправное течение технологических процессов,
- отсутствие образования пятен на готовом бетонном изделии,
- увеличение периода эксплуатации форм опалубки.

При переохлаждении смазки (температура хранения не ниже +5°C), ее следует разогреть до 40-50°C, перемешать и затем использовать.

Поверхность используемых форм перед нанесением смазки должна быть чистой и сухой. Расход смазки составляет 16-96 г/м² и зависит от метода нанесения и качества обрабатываемых форм. При равномерном нанесении распылителем и давлении 4-5 бар, расход составляет от 20 г/м² [6].

| | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----|------|----------|-------|------|----------------------|------|
| Инв. № подл. | Подл. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | 08.04.01-2017-639-ПЗ | Лист |
| | | | | | | | | | | | 16 |

Таблица 4 – Величина параметров ОЦКП при числе факторов – 4

| | |
|--|-----------|
| Численность факторов (k) | 4 |
| Численность опытов ПФЭ (3^k) | 81 |
| Тип ядра | ПФЭ 2^k |
| Численность опытов «ядра» (2^k) | 16 |
| Общая величина опытов (2^k+2k+1) | 25 |
| Величина «плеча» (α) | 1,414 |
| Величина преобразования, зависящая от числа факторов | 0,8 |

Таблица 5 – Ортогональный центрально-композиционный план второго порядка при четырех факторах

| | № опыта | X_0 | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_1X_2 | X_1X_3 | X_1X_4 | X_2X_3 | X_2X_4 | X_3X_4 | $X_1X_2X_3X_4$ | X_1^2 -a | X_2^2 -a | X_3^2 -a | X_4^2 -a | Y | |
|--|---------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------|------------|------------|------------|------------|----------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Точки плана ПФЭ 2^4 ($N_0=2^4$ точек) | 1 | +1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | +1 | 1-a | 1-a | 1-a | 1-a | Y_1 | |
| | 2 | +1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1-a | 1-a | 1-a | 1-a | Y_2 | |
| | 3 | +1 | -1 | +1 | -1 | -1 | -1 | +1 | +1 | -1 | -1 | +1 | -1 | 1-a | 1-a | 1-a | 1-a | Y_3 | |
| | 4 | +1 | +1 | +1 | -1 | -1 | +1 | -1 | -1 | -1 | -1 | +1 | +1 | 1-a | 1-a | 1-a | 1-a | Y_4 | |
| | 5 | +1 | -1 | -1 | +1 | -1 | +1 | -1 | +1 | -1 | +1 | -1 | -1 | 1-a | 1-a | 1-a | 1-a | Y_5 | |
| | 6 | +1 | +1 | -1 | +1 | -1 | -1 | +1 | -1 | -1 | -1 | +1 | -1 | +1 | 1-a | 1-a | 1-a | 1-a | Y_6 |
| | 7 | +1 | -1 | +1 | +1 | -1 | -1 | -1 | +1 | +1 | -1 | -1 | +1 | 1-a | 1-a | 1-a | 1-a | Y_7 | |
| | 8 | +1 | +1 | +1 | +1 | -1 | +1 | +1 | -1 | +1 | -1 | -1 | -1 | 1-a | 1-a | 1-a | 1-a | Y_8 | |
| | 9 | +1 | -1 | -1 | -1 | +1 | +1 | +1 | -1 | +1 | -1 | -1 | -1 | 1-a | 1-a | 1-a | 1-a | Y_9 | |
| | 10 | +1 | +1 | -1 | -1 | +1 | -1 | -1 | +1 | +1 | -1 | -1 | +1 | 1-a | 1-a | 1-a | 1-a | Y_{10} | |
| | 11 | +1 | -1 | +1 | -1 | +1 | -1 | +1 | -1 | -1 | +1 | -1 | +1 | 1-a | 1-a | 1-a | 1-a | Y_{11} | |
| | 12 | +1 | +1 | +1 | -1 | +1 | +1 | -1 | +1 | -1 | +1 | -1 | -1 | 1-a | 1-a | 1-a | 1-a | Y_{12} | |

| | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата |
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| | 13 | +1 | -1 | -1 | +1 | +1 | +1 | -1 | -1 | -1 | -1 | +1 | +1 | 1-a | 1-a | 1-a | 1-a | Y ₁₃ |
| | 14 | +1 | +1 | -1 | +1 | +1 | -1 | +1 | +1 | -1 | -1 | +1 | -1 | 1-a | 1-a | 1-a | 1-a | Y ₁₄ |
| | 15 | +1 | -1 | +1 | +1 | +1 | -1 | -1 | -1 | +1 | +1 | +1 | -1 | 1-a | 1-a | 1-a | 1-a | Y ₁₅ |
| | 16 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 1-a | 1-a | 1-a | 1-a | Y ₁₆ |
| Звездные точки (2*4 точек) | 17 | +1 | -α | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | α ² -a | -a | -a | -a | Y ₁₇ |
| | 18 | +1 | α | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | α ² -a | -a | -a | -a | Y ₁₈ |
| | 19 | +1 | 0 | -α | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -a | α ² -a | -a | -a | Y ₁₉ |
| | 20 | +1 | 0 | α | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -a | α ² -a | -a | -a | Y ₂₀ |
| | 21 | +1 | 0 | 0 | -α | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -a | -a | α ² -a | -a | Y ₂₁ |
| | 22 | +1 | 0 | 0 | α | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -a | -a | α ² -a | -a | Y ₂₂ |
| | 23 | +1 | 0 | 0 | 0 | -α | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -a | -a | -a | α ² -a | Y ₂₃ |
| | 24 | +1 | 0 | 0 | 0 | α | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -a | -a | -a | α ² -a | Y ₂₄ |
| Нулевая точка | 25 | +1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -a | -a | -a | -a | Y ₂₅ |

Таблица 6 – Ортогональный центрально-композиционный план при четырех факторах со значениями вспомогательных величин

| План ПФЭ 2 ⁴ | № опыта | Факторы | | | | | | | | | | | | Вспомогательные величины | | | | Y |
|-------------------------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------|
| | | X ₀ | X ₁ | X ₂ | X ₃ | X ₄ | X ₁ X ₂ | X ₁ X ₃ | X ₁ X ₄ | X ₂ X ₃ | X ₂ X ₄ | X ₃ X ₄ | X ₁ X ₂ X ₃ X ₄ | X ₁ ² -a | X ₂ ² -a | X ₃ ² -a | X ₄ ² -a | |
| 1 | | +1 | -1 | -1 | -1 | -1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | Y ₁ |
| 2 | | +1 | +1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | +1 | +1 | +1 | -1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | Y ₂ |
| 3 | | +1 | -1 | +1 | -1 | -1 | -1 | +1 | +1 | -1 | -1 | +1 | -1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | Y ₃ |

| | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата |
| | | | | |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |

| | | Точки плана ПФЭ 2 ⁴ (N ₀ =2 ⁴ точек) | | | | | | | | | | | | Звездные точки (2*4 точек) | | | | |
|----|----|---|--------|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|------|----------------------------|------|------|-----------------|--|
| 4 | +1 | +1 | +1 | -1 | -1 | +1 | -1 | -1 | -1 | -1 | +1 | +1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | Y ₄ | |
| 5 | +1 | -1 | -1 | +1 | -1 | +1 | -1 | +1 | -1 | +1 | -1 | -1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | Y ₅ | |
| 6 | +1 | +1 | -1 | +1 | -1 | -1 | +1 | -1 | -1 | +1 | -1 | +1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | Y ₆ | |
| 7 | +1 | -1 | +1 | +1 | -1 | -1 | -1 | +1 | +1 | -1 | -1 | +1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | Y ₇ | |
| 8 | +1 | +1 | +1 | +1 | -1 | +1 | +1 | -1 | +1 | -1 | -1 | -1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | Y ₈ | |
| 9 | +1 | -1 | -1 | -1 | +1 | +1 | +1 | -1 | +1 | -1 | -1 | -1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | Y ₉ | |
| 10 | +1 | +1 | -1 | -1 | +1 | -1 | -1 | +1 | +1 | -1 | -1 | +1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | Y ₁₀ | |
| 11 | +1 | -1 | +1 | -1 | +1 | -1 | +1 | -1 | -1 | +1 | -1 | +1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | Y ₁₁ | |
| 12 | +1 | +1 | +1 | -1 | +1 | +1 | -1 | +1 | -1 | +1 | -1 | -1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | Y ₁₂ | |
| 13 | +1 | -1 | -1 | +1 | +1 | +1 | -1 | -1 | -1 | -1 | +1 | +1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | Y ₁₃ | |
| 14 | +1 | +1 | -1 | +1 | +1 | -1 | +1 | +1 | -1 | -1 | +1 | -1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | Y ₁₄ | |
| 15 | +1 | -1 | +1 | +1 | +1 | -1 | -1 | -1 | +1 | +1 | +1 | -1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | Y ₁₅ | |
| 16 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | Y ₁₆ | |
| 17 | +1 | -1,414 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,2 | -0,8 | -0,8 | -0,8 | Y ₁₇ | |
| 18 | +1 | 1,414 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,2 | -0,8 | -0,8 | -0,8 | Y ₁₈ | |
| 19 | +1 | 0 | -1,414 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,8 | 1,2 | -0,8 | -0,8 | Y ₁₉ | |
| 20 | +1 | 0 | 1,414 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,8 | 1,2 | -0,8 | -0,8 | Y ₂₀ | |
| 21 | +1 | 0 | 0 | -1,414 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,8 | -0,8 | 1,2 | -0,8 | Y ₂₁ | |
| 22 | +1 | 0 | 0 | 1,414 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,8 | -0,8 | 1,2 | -0,8 | Y ₂₂ | |

| | | | | |
|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| Инов. № подл. | Подл. и дата | Инов. № дубл. | Взам. инв. № | Подл. и дата |
| | | | | |

| | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|----|----|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|------|------|------|------|-----------------|
| | 23 | +1 | 0 | 0 | 0 | -1,414 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,8 | -0,8 | -0,8 | 1,2 | Y ₂₃ |
| | 24 | +1 | 0 | 0 | 0 | 1,414 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,8 | -0,8 | -0,8 | 1,2 | Y ₂₄ |
| Нулевая точка | 25 | +1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,8 | -0,8 | -0,8 | -0,8 | Y ₂₅ |

Абсолютные значения нижнего, нулевого, верхнего уровней факторов представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Значения уровней факторов

| Уровень фактора | Значения уровней факторов | | | |
|-----------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| | x ₁ (Бетон) | x ₂ (Цемент) | x ₃ (Смазка) | x ₄ (Время контакта) |
| -1 | B15 | M300 | Без смазки | 1 сутки |
| 0 | B25 | M400 | Смазка «Румас-1» | 3 суток |
| +1 | B35 | M500 | Смазка «Полипласт Форм тип 3» | 5 суток |

По результатам опытов плана образуется полином:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{1234}x_1x_2x_3x_4 \quad (3)$$

Коэффициент полинома b₀:

$$b_0 = b_0' - b_{11}x_1^2 - b_{22}x_2^2 - b_{33}x_3^2 - b_{44}x_4^2 \quad (4)$$

Изм. № подл. Подп. и дата. Инв. № дубл. Инв. инв. №. Взам. инв. №. Подп. и дата. Инв. № подл.

| | | | | |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

Вследствие ортогональности матрицы остальные коэффициенты полинома вычисляются по следующим формулам [10]:

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij} y_i}{\sum_{j=1}^n x_{ij}^2} \quad (5)$$

$$b_{ii} = \frac{\sum_{j=1}^n x'_{ij} y_i}{\sum_{j=1}^n x'_{ij}{}^2} \quad (6)$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} x_{iu}) y_j}{\sum_{j=1}^n (x_{ij} x_{iu})^2} \quad (7)$$

| | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | 08.04.01-2017-639-ПЗ | Лист |
| | | | | | | 28 |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | |

| | | | | |
|--------|--------|--------|------|------|
| Щебень | 1051,2 | 710,27 | 3,15 | 2,13 |
| Вода | 192,72 | 192,72 | 0,58 | 0,58 |

Массы компонентов бетонной смеси для изготовления контрольных образцов при исследовании зависимости сцепления от температурного режима для одного вида опалубки, представлены в таблице 10 (исследование не включено при математическом планировании в ортогональный центрально-композиционный план).

Таблица 10 – Массы и объемы компонентов

| Компонент | На 1 м ³ | | На 6 образцов (0,006 м ³) | |
|-----------|---------------------|--------|---------------------------------------|------|
| | кг | л | кг | л |
| В25 ПЦ400 | | | | |
| ПЦ 400 | 378,0 | 290,77 | 2,27 | 1,74 |
| Песок | 642,6 | 428,4 | 3,86 | 2,57 |
| Щебень | 1096,2 | 740,68 | 6,58 | 4,44 |
| Вода | 189,0 | 189,0 | 1,13 | 1,13 |

Суммарная масса компонентов для приготовления общего количества образцов для исследования указана в таблице 11.

Таблица 11 – Суммарные массы компонентов для приготовления образцов

| Компонент | Масса, кг | |
|-----------|--|---------------------------------------|
| | Контрольные образцы | |
| | для экспериментов с одним видом опалубки | для экспериментов с 4 видами опалубки |
| ПЦ 300 | 11,96 | 47,84 |
| ПЦ 400 | 10,33 | 41,32 |

Инв. № подл. Подп. и дата
 Инв. № дубл. Подп. и дата
 Взам. инв. №
 Инв. № подл. Подп. и дата

| | | | | |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|



Рисунок 2 – Весы электронные MASSA-K МК-15.2-A11

2. Для перемешивания компонентов применяется бетоносмеситель гравитационный марки Б-130 (рисунок 3). Характеристики бетоносмесителя:

- объем барабана – 130 литров;
- объем при загрузке бетонной смеси – 100 литров,
- объем готовой бетонной смеси – 60 литров.



Рисунок 3 – Бетоносмеситель Б-130

Перед загрузкой компонентов смеси необходимо смочить внутреннюю поверхность барабана.

Загрузка смеси. Пункт 5.3.6 ГОСТ 7473-2010 [17] ссылается на технический регламент производства бетонной смеси. Загрузка компонентов производится в следующей последовательности: щебень, песок, цемент, вода.

Согласно п. 5.3.5. приложение А ГОСТ 7473-2010, длительность перемешивания для бетоносмесителей объемом < 750 литров: не < 75 секунд [17].

| | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |

Изм. инв. №

Изм. инв. №

Изм. инв. №

Изм. инв. №

Изм. инв. №

Изм. инв. №

| | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |

08.04.01-2017-639-ПЗ

Лист

35

5. Следующий этап – установка образцов опалубки (сталь, фанера, ламинированная фанера, текстолит) (рисунок 6). В зависимости от опыта опалубка была без смазки или с применением смазок «Полипласт Форм тип 3», «Румас-1».



Рисунок 6 – Установка опалубки

6. После вибрирования форм с бетонной смесью, они размещаются в универсальную пропарочную камеру КПУ-1М (рисунок 7). Выдерживание форм происходит в течении одних, трех и пяти суток, в зависимости от опыта, при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха не $< 90\%$ (рисунок 8).



Рисунок 7 – Универсальная пропарочная камера КПУ-1М

| | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| | | | | |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |

| | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

| | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

| |
|------|
| Лист |
| 37 |



Рисунок 8 – Размещение форм в пропарочной камере

При исследовании температурной зависимости сцепления, образцы (бетон В25, М400, опалубка без смазки) помещались в пропарочную камеру с установленной температурой 35°C и в холодильную камеру с температурой -5°C, выдерживались в течении 5 суток.

7. После выдерживания определенного количества времени в пропарочной камере (либо в холодильной камере), формы извлекаются и при помощи прибора Михаэлиса определялось усилие отрыва опалубки от бетонной смеси.

Форма фиксируется на станине (рисунок 9), закрепляется в специальный захват, подвешенный к серьге рычага и осуществляется заполнение ведерка песком. При определенном количестве песка происходит отрыв опалубки (рисунок 10) от бетонной смеси.



Рисунок 9 – Фиксирование формы опалубки в приборе Михаэлиса

| | |
|--------------|--------------|
| Изн. № подл. | Подп. и дата |
| Изн. № дубл. | Взам. инв. № |
| Подп. и дата | Подп. и дата |

| | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

9. В заключительном этапе бетонные образцы выгружаются из формы (рисунок 12). И формы подготавливаются к следующим экспериментам (рисунок 13).



Рисунок 12 – Бетонные образцы



Рисунок 13 – Подготовка деревянных форм

| | |
|---------------|--------------|
| Инва. № подл. | Подп. и дата |
| Инва. № дубл. | Взам. инв. № |
| Инва. № дубл. | Подп. и дата |
| Инва. № подл. | Подп. и дата |

| | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

08.04.01-2017-639-ПЗ

3.4 Приборы и установки

3.4.1 Весы электронные MASSA-K

Весы электронные MASSA-K МК-15.2-A11 – настольные, общего назначения. Используются для взвешивания изделий, продукции в ходе учетных, технологических и других процессов на промышленных предприятиях.

Электронные весы входят в серию весов МК, для которых характерен современный дизайн, конструкция, сформированная на цифровых датчиках взвешивания, многофункциональность.

Таблица 12 – Технические характеристики весов MASSA-K МК-15.2-A11

| Параметр | Значение |
|--|------------------------------|
| Наибольший предел взвешивания | 15 кг |
| Дискретность показаний | 2г(0,04-6 кг) и 5г(6-15 кг) |
| Габаритные размеры | 345x310x56 мм |
| Масса | 4,5 кг |
| Тип индикации | Жидкокристаллический |
| Диапазон рабочих температур | -10...+40°C |
| Возможность работы от встроенного аккумулятора | До 50 часов |
| Режим суммирования | По количеству штук/ по массе |
| Возможность подключения к РС | + |
| Отображение точности подсчета количества изделий | + |

Данные электронные весы, серии МК-А, имеют возможность работы в 5 режимах взвешивания. Весы можно подключить как к компьютеру, так и к дозаторному устройству. Предусмотрена возможность применения весов с выносным экраном [19].

Изм. № подл. Подл. и дата. Инв. № дубл. Инв. № инв. №. Взам. инв. №. Подл. и дата. Инв. № подл.

| | | | | |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

08.04.01-2017-639-ПЗ

Лист

41

3.4.2 Прибор Михаэлиса

Определение сцепления между бетоном и опалубочными материалами будет происходить с помощью прибора Михаэлиса, который используется для определения прочности строительных материалов на изгиб.

Прибор Михаэлиса состоит из мощной плиты – основания с цилиндрической стойкой, оканчивающейся консолью. На консоли закреплена двухрычажная система. Плечо верхнего рычага (короткое) и плечо нижнего (длинное) связаны между собой серьгой. От правильной установки верхнего рычага зависит точность измерения нагрузки, которая действует на образец. На длинном конце данного рычага находится ведро, которое при исследовании образца заполняется дробью. Дробь высыпается из сосуда через отверстие, прикрываемое задвижкой.

Образец устанавливают в специальный захват, подвешенный к серьге рычага и прикрепленный к основанию, с помощью винта со штурвалом [20].

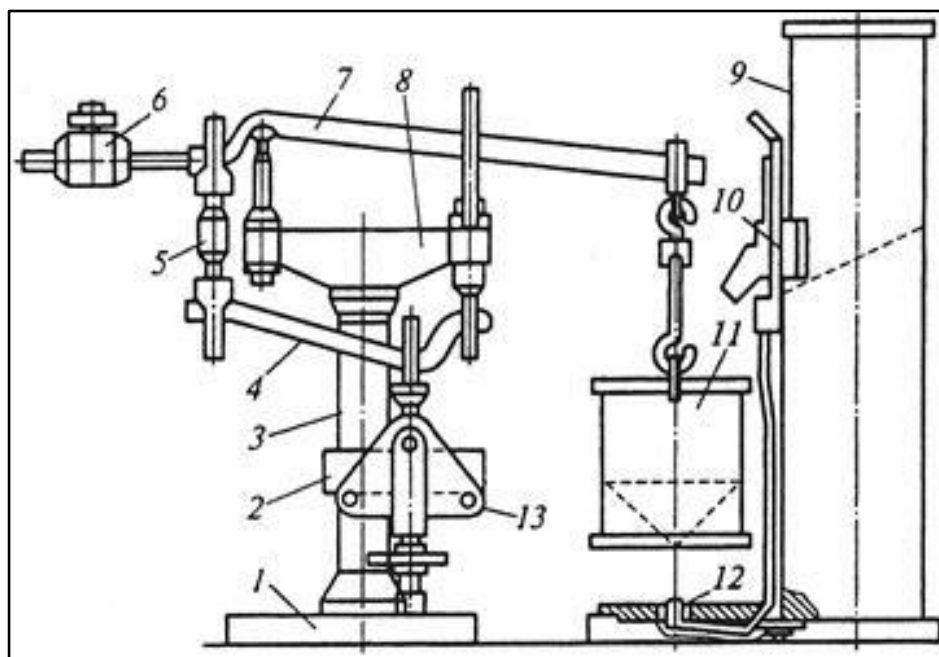


Рисунок 14 – Прибор Михаэлиса (1 – основание, 2 – образец, 3 – стойка, 4 – рычаг, 5 – серьга, 6 – груз, 7 – рычаг, 8 – консоль, 9 – сосуд с дробью, 10 – задвижка, 11 – ведро, 12 – зуб задвижки, 13 – захват).

| | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |

Модель, расположенная в лабораторном корпусе, имеет отличие, конструкция модели является однорычажной (отсутствует рычаг – 4). Принцип действия является аналогичным.

После взвешивания песка сцепление определяется по формуле 8. Для однорычажного прибора, при соотношении плеч 1:10:

$$\sigma = P * 10 / S \quad (8)$$

где: P – вес ведерка в г;

S – площадь сечения образца, см².

3.4.3 Камера пропарочная универсальная КПУ-1М

Камера пропарочная универсальная (КПУ-1М) используется для термической обработки бетона, пропаривания бетонных образцов и выдерживания в нормальных условиях.

Режимы работы камеры пропарочной универсальной:

1. Пропаривание по назначенному жесткому режиму для форсированного измерения прочности на сжатие (ГОСТ 22783-77).

2. Выбор режимов термической обработки для разных видов бетона (ГОСТ 10180-90).

3. Режим нормального твердения: температура 20±1°С, влажность не < 95% (ГОСТ 10180-90).

Пропарочная камера обеспечена перепрограммируемым блоком регулирования режимов работы.

Принцип действия камеры пропарочной универсальной:

Камера оснащена водяными теплоэлектронагревателями, которые обеспечивают, нагрев воды до 100°С. Программное управление режимами обработки производится с помощью электронного регулятора температуры.

Отличительные свойства камеры пропарочной универсальной:

- благодаря автономному питанию пульта камеры, при аварийном отключении напряжения, камера продолжит свою работу;

| | | |
|---------------|--------------|--------------|
| Интв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата |
| | | |
| Интв. № подл | Подп. и дата | |
| | | |

| | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |

08.04.01-2017-639-ПЗ

Лист

43

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАКТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ МЕЖДУ БЕТОНОМ И ОПАЛУБКЕЙ

4.1 Экспериментальные данные

После испытания образцов на установке, было произведено взвешивание грузов и определены значения усилия отрыва. На каждую серию испытаний бетонных образцов, с различной опалубкой, составляется отдельная таблица.

Таблица 14 – Результаты эксперимента с применением опалубки – сталь

| № п/п | Расшифровка эксперимента (бетон, цемент, смазка, продолжительность контакта) | Величина усилия отрыва, кгс | | | Среднее значение кгс |
|----------|--|-----------------------------|-------|-------|----------------------------|
| | | Образцы | | | |
| | | №1 | №2 | №3 | |
| 1 | B15, M300, без смазки, 1 сут. | 3,260 | 3,190 | 2,985 | 3,145 |
| 2 | B35, M300, без смазки, 1 сут. | 3,610 | 3,480 | 3,305 | 3,465 |
| 3 | B15, M500, без смазки, 1 сут. | 2,800 | 2,675 | 3,135 | 2,870 |
| 4 | B35, M500, без смазки, 1 сут. | 3,235 | 3,120 | 2,900 | 3,085 |
| 5 | B15, M300, смазка №2, 1 сут. | 2,665 | 2,715 | 2,405 | 2,595 |
| 6 | B35, M300, смазка №2, 1 сут. | 3,245 | 3,170 | 2,660 | 3,025 |
| 7 | B15, M500, смазка №2, 1 сут. | 2,435 | 2,105 | 2,075 | 2,205 |
| 8 | B35, M500, смазка №2, 1 сут. | 2,770 | 2,490 | 2,810 | 2,690 |
| 9 | B15, M300, без смазки, 5 сут. | 3,675 | 3,465 | 3,630 | 3,590 |
| 10 | B35, M300, без смазки, 5 сут. | 3,915 | 3,685 | 3,560 | 3,720 |
| 11 | B15, M500, без смазки, 5 сут. | 3,625 | 3,510 | 3,110 | 3,415 |
| 12 | B35, M500, без смазки, 5 сут. | 3,775 | 3,390 | 3,680 | 3,615 |
| 13 | B15, M300, смазка №2, 5 сут. | 3,145 | 2,785 | 3,040 | 2,990 |
| 14 | B35, M300, смазка №2, 5 сут. | 3,355 | 3,295 | 3,220 | 3,290 |
| 15 | B15, M500, смазка №2, 5 сут. | 2,950 | 2,615 | 2,850 | 2,805 |
| 16 | B35, M500, смазка №2, 5 сут. | 3,235 | 3,055 | 2,920 | 3,070 |
| 17 | B10, M400, смазка №1, 3 сут. | 2,905 | 2,785 | 2,635 | 2,775 |
| 18 | B50, M400, смазка №1, 3 сут. | 3,475 | 3,560 | 3,975 | 3,670 |

| | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изн. № подл. | Подп. и дата | Изн. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата |

| | | | | | |
|----|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 19 | B25, M300, смазка №1, 3 сут. | 3,435 | 3,215 | 3,190 | 3,280 |
| 20 | B25, M500, смазка №1, 3 сут. | 2,935 | 2,870 | 2,340 | 2,715 |
| 21 | B25, M400, без смазки, 3 сут. | 3,420 | 3,205 | 3,290 | 3,305 |
| 22 | B25, M400, смазка №2, 3 сут. | 2,665 | 2,720 | 3,240 | 2,875 |
| 23 | B25, M400, смазка №1, 1,5 сут. | 2,995 | 3,015 | 2,660 | 2,890 |
| 24 | B25, M400, смазка №1, 7 сут. | 3,745 | 3,480 | 3,290 | 3,505 |
| 25 | B25, M400, смазка №1, 3 сут. | 3,170 | 2,950 | 3,015 | 3,045 |

Таблица 15 – Результаты эксперимента с применением опалубки – фанера

| № п/п | Расшифровка эксперимента (бетон, цемент, смазка, продолжительность контакта) | Величина усилия отрыва, кгс | | | Среднее значение кгс |
|----------|--|-----------------------------|-------|-------|----------------------------|
| | | Образцы | | | |
| | | №1 | №2 | №3 | |
| 1 | B15, M300, без смазки, 1 сут. | 2,750 | 2,600 | 2,555 | 2,635 |
| 2 | B35, M300, без смазки, 1 сут. | 2,760 | 2,990 | 2,860 | 2,870 |
| 3 | B15, M500, без смазки, 1 сут. | 1,990 | 2,195 | 2,265 | 2,150 |
| 4 | B35, M500, без смазки, 1 сут. | 2,570 | 2,305 | 2,475 | 2,450 |
| 5 | B15, M300, смазка №2, 1 сут. | 2,350 | 2,025 | 2,180 | 2,185 |
| 6 | B35, M300, смазка №2, 1 сут. | 2,380 | 2,185 | 2,350 | 2,305 |
| 7 | B15, M500, смазка №2, 1 сут. | 1,970 | 2,005 | 1,620 | 1,865 |
| 8 | B35, M500, смазка №2, 1 сут. | 1,875 | 2,375 | 1,690 | 1,980 |
| 9 | B15, M300, без смазки, 5 сут. | 2,940 | 2,815 | 2,900 | 2,905 |
| 10 | B35, M300, без смазки, 5 сут. | 3,005 | 2,925 | 3,355 | 3,095 |
| 11 | B15, M500, без смазки, 5 сут. | 2,885 | 2,430 | 2,710 | 2,675 |
| 12 | B35, M500, без смазки, 5 сут. | 2,940 | 2,780 | 3,010 | 2,910 |
| 13 | B15, M300, смазка №2, 5 сут. | 2,665 | 2,590 | 2,395 | 2,550 |
| 14 | B35, M300, смазка №2, 5 сут. | 2,790 | 2,775 | 2,490 | 2,670 |
| 15 | B15, M500, смазка №2, 5 сут. | 2,570 | 2,005 | 2,400 | 2,325 |

Подп. и дата
 Взам. инв. №
 Инв. № дубл.
 Подп. и дата
 Инв. № подл.

| | | | | | |
|----|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 12 | B35, M500, без смазки, 5 сут. | 2,205 | 1,840 | 1,970 | 2,005 |
| 13 | B15, M300, смазка №2, 5 сут. | 1,905 | 1,620 | 1,710 | 1,745 |
| 14 | B35, M300, смазка №2,5 сут. | 1,630 | 1,700 | 2,310 | 1,880 |
| 15 | B15, M500, смазка №2, 5 сут. | 1,755 | 1,400 | 1,825 | 1,660 |
| 16 | B35, M500, смазка №2, 5 сут. | 1,630 | 1,875 | 1,730 | 1,745 |
| 17 | B10, M400, смазка №1, 3 сут. | 1,480 | 1,275 | 1,385 | 1,380 |
| 18 | B50, M400, смазка №1, 3 сут. | 2,130 | 1,795 | 2,045 | 1,990 |
| 19 | B25, M300, смазка №1, 3 сут. | 1,980 | 1,470 | 1,800 | 1,750 |
| 20 | B25, M500, смазка №1, 3 сут. | 1,445 | 1,350 | 1,315 | 1,370 |
| 21 | B25, M400, без смазки, 3 сут. | 1,725 | 1,905 | 1,755 | 1,795 |
| 22 | B25, M400, смазка №2, 3 сут. | 1,515 | 1,235 | 1,435 | 1,395 |
| 23 | B25, M400, смазка №1, 1,5 сут. | 1,100 | 1,495 | 1,185 | 1,260 |
| 24 | B25, M400, смазка №1, 7 сут. | 1,660 | 2,255 | 1,995 | 1,970 |
| 25 | B25, M400, смазка №1, 3 сут. | 1,605 | 1,400 | 1,660 | 1,555 |

Таблица 17 – Результаты эксперимента с применением опалубки – текстолит

| № п/п | Расшифровка эксперимента (бетон, цемент, смазка, продолжительность контакта) | Величина усилия отрыва, кгс | | | Среднее значение кгс |
|----------|--|-----------------------------|-------|-------|----------------------------|
| | | Образцы | | | |
| | | №1 | №2 | №3 | |
| 1 | B15, M300, без смазки, 1 сут. | 0,970 | 1,210 | 0,835 | 1,005 |
| 2 | B35, M300, без смазки, 1 сут. | 1,315 | 1,285 | 1,075 | 1,225 |
| 3 | B15, M500, без смазки, 1 сут. | 0,665 | 0,575 | 0,905 | 0,715 |
| 4 | B35, M500, без смазки, 1 сут. | 0,975 | 0,680 | 0,730 | 0,795 |
| 5 | B15, M300, смазка №2, 1 сут. | 0,925 | 0,625 | 0,670 | 0,740 |
| 6 | B35, M300, смазка №2, 1 сут. | 0,940 | 0,695 | 1,050 | 0,895 |
| 7 | B15, M500, смазка №2, 1 сут. | 0,515 | 0,480 | 0,310 | 0,435 |

Изм. № подл. Подп. и дата. Инв. № дубл. Взам. инв. № Подп. и дата.

| | | | | | |
|----|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 8 | B35, M500, смазка №2, 1 сут. | 0,695 | 0,445 | 0,570 | 0,570 |
| 9 | B15, M300, без смазки, 5 сут. | 1,495 | 1,220 | 1,395 | 1,370 |
| 10 | B35, M300, без смазки, 5 сут. | 1,785 | 1,625 | 1,585 | 1,665 |
| 11 | B15, M500, без смазки, 5 сут. | 1,405 | 1,315 | 0,985 | 1,235 |
| 12 | B35, M500, без смазки, 5 сут. | 1,675 | 1,295 | 1,590 | 1,520 |
| 13 | B15, M300, смазка №2, 5 сут. | 1,235 | 1,040 | 0,740 | 1,005 |
| 14 | B35, M300, смазка №2, 5 сут. | 1,475 | 1,405 | 1,110 | 1,330 |
| 15 | B15, M500, смазка №2, 5 сут. | 0,840 | 0,675 | 1,095 | 0,870 |
| 16 | B35, M500, смазка №2, 5 сут. | 1,140 | 1,095 | 1,260 | 1,165 |
| 17 | B10, M400, смазка №1, 3 сут. | 0,665 | 0,755 | 0,935 | 0,785 |
| 18 | B50, M400, смазка №1, 3 сут. | 1,460 | 1,380 | 1,675 | 1,505 |
| 19 | B25, M300, смазка №1, 3 сут. | 1,320 | 0,790 | 1,265 | 1,125 |
| 20 | B25, M500, смазка №1, 3 сут. | 0,975 | 0,820 | 0,695 | 0,830 |
| 21 | B25, M400, без смазки, 3 сут. | 1,425 | 1,310 | 0,880 | 1,205 |
| 22 | B25, M400, смазка №2, 3 сут. | 0,835 | 1,160 | 0,990 | 0,995 |
| 23 | B25, M400, смазка №1, 1,5 сут. | 0,970 | 1,120 | 0,625 | 0,905 |
| 24 | B25, M400, смазка №1, 7 сут. | 1,420 | 1,495 | 1,690 | 1,535 |
| 25 | B25, M400, смазка №1, 3 сут. | 1,250 | 1,010 | 0,995 | 1,085 |

Для исследования зависимости сцепления от температурного режима были использованы образцы бетона B25, M400, размещенные на 5 суток в пропарочную и холодильную камеры с опалубкой без смазки. Полученные данные представлены в таблице 18.

| | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----|------|----------|-------|------|----------------------|------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | 08.04.01-2017-639-ПЗ | Лист |
| | | | | | | | | | | | 49 |

Таблица 18 – Результаты эксперимента зависимости сцепления от температурного режима

| Используемая опалубка | Величина усилия отрыва, кгс | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------------|-------|-------|--------------------|---------|-------|-------|--------------------|
| | Температурный режим | | | | | | | |
| | -5°C | | | | 35°C | | | |
| | Образцы | | | Y _{сред.} | Образцы | | | Y _{сред.} |
| | №1 | №2 | №3 | | №1 | №2 | №3 | |
| Сталь | 4,270 | 4,115 | 4,335 | 4,240 | 2,595 | 2,820 | 2,625 | 2,680 |
| Фанера | 3,905 | 3,620 | 3,515 | 3,680 | 1,870 | 2,025 | 2,165 | 2,020 |
| Лам. фанера | 2,895 | 2,475 | 2,550 | 2,640 | 1,185 | 1,970 | 1,030 | 1,395 |
| Текстолит | 1,800 | 1,555 | 1,940 | 1,765 | 1,185 | 1,080 | 0,705 | 0,990 |

| | | | | |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |

4.2 Обработка результатов эксперимента

Сцепление определяется по вышеизложенной формуле 8:

$$\sigma = P \cdot 10 / S \quad (8)$$

где: P – среднее значение веса ведерка в г;

S – площадь сечения образца, см².

Площадь сечения опалубки:

$$S = 9 \cdot 9 = 81 \text{ см}^2$$

Опыт №1 (сталь):

$$\sigma = 3145 \cdot 10 / 81 = 388,3 \text{ гс/см}^2$$

Опыт №1 (фанера):

$$\sigma = 2635 \cdot 10 / 81 = 325,3 \text{ гс/см}^2$$

Опыт №1 (лам. фанера):

$$\sigma = 1840 \cdot 10 / 81 = 227,2 \text{ гс/см}^2$$

Опыт №1 (текстолит):

$$\sigma = 1005 \cdot 10 / 81 = 124,1 \text{ гс/см}^2$$

Аналогично вычисляется сцепление для всех опытов (таблицы 19 – 20).

Таблица 19 – Величины нагрузок сцепления, на основе средних значений величин усилия отрыва

| № п/п | Расшифровка эксперимента (бетон, цемент, смазка, продолжительность контакта) | Нагрузка сцепления, гс/см ² | | | | |
|----------|--|--|--------|--------------------|-----------|--|
| | | Сталь | Фанера | Ламинир. фанера | Текстолит | |
| 1 | В15, М300, без смазки, 1 сут. | 388,3 | 325,3 | 227,2 | 124,1 | |
| 2 | В35, М300, без смазки, 1 сут. | 427,7 | 354,3 | 238,3 | 151,2 | |
| 3 | В15, М500, без смазки, 1 сут. | 354,3 | 265,4 | 171,6 | 88,3 | |
| 4 | В35, М500, без смазки, 1 сут. | 380,8 | 302,5 | 204,9 | 98,1 | |
| 5 | В15, М300, смазка №2, 1 сут. | 320,4 | 269,8 | 194,4 | 91,4 | |
| 6 | В35, М300, смазка №2, 1 сут. | 373,5 | 284,6 | 200,6 | 110,5 | |

Подп. и дата
 Взам. инв. №
 Инв. № дубл.
 Подп. и дата
 Инв. № подл.

08.04.01-2017-639-ПЗ

Лист

51

Изм Лист № докум. Подп. Дата

| | | | | | |
|----|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 7 | B15, M500, смазка №2, 1 сут. | 272,2 | 230,2 | 145,7 | 53,7 |
| 8 | B35, M500, смазка №2, 1 сут. | 332,1 | 244,4 | 159,8 | 70,4 |
| 9 | B15, M300, без смазки, 5 сут. | 443,2 | 358,6 | 248,7 | 169,1 |
| 10 | B35, M300, без смазки, 5 сут. | 459,3 | 382,1 | 270,9 | 205,5 |
| 11 | B15, M500, без смазки, 5 сут. | 421,6 | 330,2 | 233,9 | 152,5 |
| 12 | B35, M500, без смазки, 5 сут. | 446,3 | 359,3 | 247,5 | 187,6 |
| 13 | B15, M300, смазка №2, 5 сут. | 369,1 | 314,8 | 215,4 | 124,1 |
| 14 | B35, M300, смазка №2, 5 сут. | 406,2 | 329,6 | 232,1 | 164,2 |
| 15 | B15, M500, смазка №2, 5 сут. | 346,4 | 287,0 | 204,3 | 107,4 |
| 16 | B35, M500, смазка №2, 5 сут. | 379,0 | 319,1 | 215,4 | 143,8 |
| 17 | B10, M400, смазка №1, 3 сут. | 342,6 | 282,1 | 170,4 | 96,9 |
| 18 | B50, M400, смазка №1, 3 сут. | 453,1 | 358,6 | 245,7 | 185,8 |
| 19 | B25, M300, смазка №1, 3 сут. | 404,9 | 329,0 | 216,0 | 138,9 |
| 20 | B25, M500, смазка №1, 3 сут. | 335,2 | 275,3 | 169,1 | 102,5 |
| 21 | B25, M400, без смазки, 3 сут. | 408,2 | 329,6 | 221,6 | 148,8 |
| 22 | B25, M400, смазка №2, 3 сут. | 354,9 | 288,9 | 172,2 | 122,8 |
| 23 | B25, M400, смазка №1, 1,5 сут. | 356,8 | 279,6 | 155,6 | 111,7 |
| 24 | B25, M400, смазка №1, 7 сут. | 432,7 | 343,2 | 243,2 | 189,5 |
| 25 | B25, M400, смазка №1, 3 сут. | 375,9 | 307,4 | 191,9 | 133,9 |

Таблица 20 - Величины нагрузок сцепления, на основе средних значений величин усилия отрыва, при исследовании зависимости сцепления от температурного режима (бетон B25, M400, без смазки, контакт – 5 сут.)

| Используемая опалубка | Нагрузка сцепления, гс/см ² | |
|-----------------------|--|-------|
| | Температурный режим | |
| | -5°С | 35°С |
| Сталь | 523,5 | 330,9 |

$$b_{12} = \sum (x_1x_2y)/16 = 1/16*(388,3 - 427,7 - 354,3 + 380,8 + 320,4 - 373,5 - 272,2 + 332,1 + 443,2 - 459,3 - 421,6 + 446,3 + 369,1 - 406,2 - 346,4 + 379) = 1/16*(-2) = -0,13$$

$$b_{13} = \sum (x_1x_3y)/16 = 1/16*(388,3 - 427,7 + 354,3 - 380,8 - 320,4 + 373,5 - 272,2 + 332,1 + 443,2 - 459,3 + 421,6 - 446,3 - 369,1 + 406,2 - 346,4 + 379) = 1/16*76 = 4,75$$

$$b_{14} = \sum (x_1x_4y)/16 = 1/16*(388,3 - 427,7 + 354,3 - 380,8 + 320,4 - 373,5 + 272,2 - 332,1 - 443,2 + 459,3 - 421,6 + 446,3 - 369,1 + 406,2 - 346,4 + 379) = 1/16*(-68,4) = -4,28$$

$$b_{23} = \sum (x_2x_3y)/16 = 1/16*(388,3 + 427,7 - 354,3 - 380,8 - 320,4 - 373,5 + 272,2 + 332,1 + 443,2 + 459,3 - 421,6 - 446,3 - 369,1 - 406,2 + 346,4 + 379) = 1/16*(-24) = -1,5$$

$$b_{24} = \sum (x_2x_4y)/16 = 1/16*(388,3 + 427,7 - 354,3 - 380,8 + 320,4 + 373,5 - 272,2 - 332,1 - 443,2 - 459,3 + 421,6 + 446,3 - 369,1 - 406,2 + 346,4 + 379) = 1/16*86 = 5,38$$

$$b_{34} = \sum (x_3x_4y)/16 = 1/16*(388,3 + 427,7 + 354,3 + 380,8 - 320,4 - 373,5 - 272,2 - 332,1 - 443,2 - 459,3 - 421,6 - 446,3 + 369,1 + 406,2 + 346,4 + 379) = 1/16*(-16,8) = -1,05$$

$$b_{1234} = \sum (x_1x_2x_3x_4y)/16 = 1/16*(388,3 - 427,7 - 354,3 + 380,8 - 320,4 + 373,5 + 272,2 - 332,1 - 443,2 + 459,3 + 421,6 - 446,3 + 369,1 - 406,2 - 346,4 + 379) = 1/16*(-32,8) = -2,05$$

$$b_0 = \sum (x_0y)/25 - 0,8*b_{11} - 0,8*b_{22} - 0,8*b_{33} - 0,8*b_{44} = 1/25*(388,3 + 427,7 + 354,3 + 380,8 + 320,4 + 373,5 + 272,2 + 332,1 + 443,2 + 459,3 + 421,6 + 446,3 + 369,1 + 406,2 + 346,4 + 379 + 342,6 + 453,1 + 404,9 + 335,2 + 400 + 354,9 + 356,8 + 432,7 + 375,9) - 0,8*6,33 - 0,8*(-7,57) - 0,8*(-3,88) - 0,8*4,77 = 383,34$$

| | |
|--------------|--------------|
| Ив. № подл. | Подп. и дата |
| Ив. № дубл. | Взам. инв. № |
| Подп. и дата | Подп. и дата |

| | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

08.04.01-2017-639-ПЗ

Лист

55

Полином (эксперименты с опалубкой – сталь):

$$Y = 383,34 + 22,29x_1 - 17,68x_2 - 29,32x_3 + 26,46x_4 + 6,33x_1^2 - 7,57x_2^2 - 3,88x_3^2 + 4,77x_4^2 - 0,13x_1x_2 + 4,75x_1x_3 - 4,28x_1x_4 - 1,5x_2x_3 + 5,38x_2x_4 - 1,05x_3x_4 - 2,05x_1x_2x_3x_4$$

Вычисление коэффициентов для экспериментов с применением опалубки – фанера:

$$b_1 = \sum(x_1y)/20 = 1/20*(-325,3 + 354,3 - 265,4 + 302,5 - 269,8 + 284,6 - 230,2 + 244,4 - 358,6 + 382,1 - 330,2 + 359,3 - 314,8 + 329,6 - 287,0 + 319,1 - 1,414*282,1 + 1,414*358,6) = 1/20*302,8 = 15,14$$

$$b_2 = \sum(x_2y)/20 = 1/20*(-325,3 - 354,3 + 265,4 + 302,5 - 269,8 - 284,6 + 230,2 + 244,4 - 358,6 - 382,1 + 330,2 + 359,3 - 314,8 - 329,6 + 287,0 + 319,1 - 1,414*329 + 1,414*275,3) = 1/20*(-356,9) = -17,85$$

$$b_3 = \sum(x_3y)/20 = 1/20*(-325,3 - 354,3 - 265,4 - 302,5 + 269,8 + 284,6 + 230,2 + 244,4 - 358,6 - 382,1 - 330,2 - 359,3 + 314,8 + 329,6 + 287,0 + 319,1 - 1,414*329,6 + 1,414*288,9) = 1/20*(-455,8) = -22,79$$

$$b_4 = \sum(x_4y)/20 = 1/20*(-325,3 - 354,3 - 265,4 - 302,5 - 269,8 - 284,6 - 230,2 - 244,4 + 358,6 + 382,1 + 330,2 + 359,3 + 314,8 + 329,6 + 287,0 + 319,1 - 1,414*279,6 + 1,414*343,2) = 1/20*494,1 = 24,71$$

$$b_{11} = (x_1')^2y/8 = 1/8*(0,2*(325,3 + 354,3 + 265,4 + 302,5 + 269,8 + 284,6 + 230,2 + 244,4 + 358,6 + 382,1 + 330,2 + 359,3 + 314,8 + 329,6 + 287,0 + 319,1) + 1,2*282,1 + 1,2*358,6 - 0,8*329 - 0,8*275,3 - 0,8*329,6 - 0,8*288,9 - 0,8*279,6 - 0,8*343,2 - 0,8*307,4) = 1/8*37,7 = 4,71$$

$$b_{22} = (x_2')^2y/8 = 1/8*(991,4 - 0,8*282,1 - 0,8*358,6 + 1,2*329 + 1,2*275,3 - 263,7 - 231,1 - 223,7 - 274,6 - 245,9) = 1/8*(-35) = -4,38$$

$$b_{33} = (x_3')^2y/8 = 1/8*(991,4 - 225,7 - 286,9 - 263,2 - 220,2 + 1,2*329,6 + 1,2*288,9 - 223,7 - 274,6 - 245,9) = 1/8*(-6,6) = -0,83$$

| | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |

$$b_{44} = (x_4')^2 y / 8 = 1/8 * (991,4 - 225,7 - 286,9 - 263,2 - 220,2 - 263,7 - 231,1 + 1,2 * 279,6 + 1,2 * 343,2 - 245,9) = 1/8 * 2 = 0,25$$

$$b_{12} = \sum (x_1 x_2 y) / 16 = 1/16 * (325,3 - 354,3 - 265,4 + 302,5 + 269,8 - 284,6 - 230,2 + 244,4 + 358,6 - 382,1 - 330,2 + 359,3 + 314,8 - 329,6 - 287 + 319,1) = 1/16 * 30,4 = 1,9$$

$$b_{13} = \sum (x_1 x_3 y) / 16 = 1/16 * (325,3 - 354,3 + 265,4 - 302,5 - 269,8 + 284,6 - 230,2 + 244,4 + 358,6 - 382,1 + 330,2 - 359,3 - 314,8 + 329,6 - 287 + 319,1) = 1/16 * (-42,8) = -2,68$$

$$b_{14} = \sum (x_1 x_4 y) / 16 = 1/16 * (325,3 - 354,3 + 265,4 - 302,5 + 269,8 - 284,6 + 230,2 - 244,4 - 358,6 + 382,1 - 330,2 + 359,3 - 314,8 + 329,6 - 287 + 319,1) = 1/16 * 4,4 = 0,28$$

$$b_{23} = \sum (x_2 x_3 y) / 16 = 1/16 * (325,3 + 354,3 - 265,4 - 302,5 - 269,8 - 284,6 + 230,2 + 244,4 + 358,6 + 382,1 - 330,2 - 359,3 - 314,8 - 329,6 + 287 + 319,1) = 1/16 * 44,8 = 2,8$$

$$b_{24} = \sum (x_2 x_4 y) / 16 = 1/16 * (325,3 + 354,3 - 265,4 - 302,5 + 269,8 + 284,6 - 230,2 - 244,4 - 358,6 - 382,1 + 330,2 + 359,3 - 314,8 - 329,6 + 287 + 319,1) = 1/16 * 102 = 6,38$$

$$b_{34} = \sum (x_3 x_4 y) / 16 = 1/16 * (325,3 + 354,3 + 265,4 + 302,5 - 269,8 - 284,6 - 230,2 - 244,4 - 358,6 - 382,1 - 330,2 - 359,3 + 314,8 + 329,6 + 287 + 319,1) = 1/16 * 38,8 = 2,43$$

$$b_{1234} = \sum (x_1 x_2 x_3 x_4 y) / 16 = 1/16 * (325,3 - 354,3 - 265,4 + 302,5 - 269,8 + 284,6 + 230,2 - 244,4 - 358,6 + 382,1 + 330,2 - 359,3 + 314,8 - 329,6 - 287 + 319,1) = 1/16 * 20,4 = 1,27$$

$$b_0 = \sum (x_0 y) / 25 - 0,8 * b_{11} - 0,8 * b_{22} - 0,8 * b_{33} - 0,8 * b_{44} = 1/25 * (325,3 + 354,3 + 265,4 + 302,5 + 269,8 + 284,6 + 230,2 + 244,4 + 358,6 + 382,1 + 330,2 + 359,3 + 314,8$$

| | |
|----------------|--------------|
| Инва. № подл. | Подп. и дата |
| Инва. № дубл. | Взам. инв. № |
| Инва. № инв. № | Подп. и дата |

$$+ 329,6 + 287 + 319,1 + 282,1 + 358,6 + 329 + 275,3 + 329,6 + 288,9 + 279,6 + 343,2 + 307,4) - 0,8*4,71 - 0,8*(-4,38) - 0,8*0,83 - 0,8*0,25 = 308,91$$

Полином (эксперименты с опалубкой – фанера):

$$Y = 308,91 + 15,14x_1 - 17,85x_2 - 22,79x_3 + 24,71x_4 + 4,71x_1^2 - 4,38x_2^2 - 0,83x_3^2 + 0,25x_4^2 + 1,9x_1x_2 - 2,68x_1x_3 + 0,28x_1x_4 + 2,8x_2x_3 + 6,38x_2x_4 + 2,43x_3x_4 + 1,27x_1x_2x_3x_4$$

Аналогично вычисляются коэффициенты полинома для экспериментов с применением ламинированной фанеры и текстолита (таблица 21).

Таблица 21 – Коэффициенты полиномов

| Коэффициенты | Сталь | Фанера | Ламинированная фанера | Текстолит |
|-------------------|--------|--------|-----------------------|-----------|
| b ₁ | 22,29 | 15,14 | 11,74 | 17,32 |
| b ₂ | -17,68 | -17,85 | -15,54 | -14,49 |
| b ₃ | -29,32 | -22,79 | -17,26 | -17,38 |
| b ₄ | 26,46 | 24,71 | 22,48 | 28,8 |
| b ₁₁ | 6,33 | 4,71 | 10,73 | -1,35 |
| b ₂₂ | -7,57 | -4,38 | 2,98 | -11,66 |
| b ₃₃ | -3,88 | -0,83 | 5,14 | -4,11 |
| b ₄₄ | 4,77 | 0,25 | 6,39 | 3,29 |
| b ₁₂ | -0,13 | 1,9 | 0,99 | -1,54 |
| b ₁₃ | 4,75 | -2,68 | -2,01 | 0,24 |
| b ₁₄ | -4,28 | 0,28 | -0,07 | 4,7 |
| b ₂₃ | -1,5 | 2,8 | 0,62 | 0,53 |
| b ₂₄ | 5,38 | 6,38 | 7,03 | 5,94 |
| b ₃₄ | -1,05 | 2,43 | 0,48 | -2,47 |
| b ₁₂₃₄ | -2,05 | 1,27 | 1,19 | -1,08 |
| b ₀ | 383,34 | 308,91 | 187,68 | 142,2 |

Инв. № подл. Подп. и дата
 Инв. № дубл. Подп. и дата
 Инв. № инв. № Взам. инв. № Подп. и дата

| | | | | |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|

4.4 Значения нагрузок сцепления

На основе сформированных уравнений-полиномов вычисляем значения сцепления при различных факторах.

Полином (опалубка – сталь):

$$Y = 383,34 + 22,29x_1 - 17,68x_2 - 29,32x_3 + 26,46x_4 + 6,33x_1^2 - 7,57x_2^2 - 3,88x_3^2 + 4,77x_4^2 - 0,13x_1x_2 + 4,75x_1x_3 - 4,28x_1x_4 - 1,5x_2x_3 + 5,38x_2x_4 - 1,05x_3x_4 - 2,05x_1x_2x_3x_4$$

Образец: бетон В15, цемент М300, применение смазки №1, длительность контакта – 1 сут. ($x_1=-1, x_2=-1, x_3=0, x_4=-1$):

$$Y = 383,34 - 22,29 + 17,68 + 0 - 26,46 + 6,33 - 7,57 - 0 + 4,77 - 0,13 + 0 - 4,28 - 0 + 5,38 - 0 - 0 = 356,8 \text{ гс/см}^2$$

Полином (опалубка – фанера):

$$Y = 308,91 + 15,14x_1 - 17,85x_2 - 22,79x_3 + 24,71x_4 + 4,71x_1^2 - 4,38x_2^2 - 0,83x_3^2 + 0,25x_4^2 + 1,9x_1x_2 - 2,68x_1x_3 + 0,28x_1x_4 + 2,8x_2x_3 + 6,38x_2x_4 + 2,43x_3x_4 + 1,27x_1x_2x_3x_4$$

Образец: бетон В15, цемент М300, применение смазки №1, длительность контакта – 1 сут. ($x_1=-1, x_2=-1, x_3=0, x_4=-1$):

$$Y = 308,91 - 15,14 + 17,85 - 0 - 24,71 + 4,71 - 4,38 - 0 + 0,25 + 1,9 - 0 + 0,28 + 0 + 6,38 + 0 + 0 = 296,1 \text{ гс/см}^2$$

Полином (опалубка – ламинированная фанера):

$$Y = 187,68 + 11,74x_1 - 15,54x_2 - 17,26x_3 + 22,48x_4 + 10,73x_1^2 + 2,98x_2^2 + 5,14x_3^2 + 6,39x_4^2 + 0,99x_1x_2 - 2,01x_1x_3 - 0,07x_1x_4 + 0,62x_2x_3 + 7,03x_2x_4 + 0,48x_3x_4 + 1,19x_1x_2x_3x_4$$

Образец: бетон В15, цемент М300, применение смазки №1, длительность контакта – 1 сут. ($x_1=-1, x_2=-1, x_3=0, x_4=-1$):

$$Y = 187,68 - 11,74 + 15,54 - 0 + 22,48 + 10,73 + 2,98 + 0 + 6,39 + 0,99 - 0 - 0,07 + 0 + 7,03 + 0 + 0 = 197,1 \text{ гс/см}^2$$

Полином (опалубка – текстолит):

$$Y = 142,2 + 17,32x_1 - 14,49x_2 - 17,38x_3 + 28,8x_4 - 1,35x_1^2 - 11,66x_2^2 - 4,11x_3^2 + 3,29x_4^2 - 1,54x_1x_2 + 0,24x_1x_3 + 4,7x_1x_4 + 0,53x_2x_3 + 5,94x_2x_4 - 2,47x_3x_4 - 1,08x_1x_2x_3x_4$$

| | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |

Образец: бетон В15, цемент М300, применение смазки №1, длительность контакта – 1 сут. ($x_1=-1$, $x_2=-1$, $x_3=0$, $x_4=-1$):

$$Y = 142,2 - 17,32 + 14,49 - 0 - 28,8 - 1,35 - 11,66 - 0 + 3,29 - 1,54 + 0 + 4,7 + 0 + 5,94 - 0 - 0 = 110,0 \text{ гс/см}^2$$

Аналогично вычисляются значения сцепления для других образцов (таблицы 22 – 24).

Таблица 22 – Значения нагрузок сцепления для бетона В15

| Бетон | Цемент | Время | Смазка | Сцепление, гс/см ² | | | |
|-------|--------|--------|------------|-------------------------------|--------|-------------|-----------|
| | | | | Опалубка: | | | |
| | | | | Сталь | Фанера | Лам. фанера | Текстолит |
| В15 | М300 | 1 сут. | Без смазки | 388,3 | 325,3 | 227,2 | 124,1 |
| | | | Смазка №1 | 356,8 | 296,1 | 197,1 | 110,0 |
| | | | Смазка №2 | 320,4 | 269,8 | 194,4 | 111,4 |
| | | 3 сут. | Без смазки | 406,1 | 335,9 | 227,2 | 138,9 |
| | | | Смазка №1 | 377,4 | 313,9 | 206,2 | 114,8 |
| | | | Смазка №2 | 340,9 | 290,1 | 195,5 | 122,6 |
| | | 5 сут. | Без смазки | 443,2 | 358,6 | 248,7 | 169,1 |
| | | | Смазка №1 | 404,5 | 332,1 | 228,1 | 136,3 |
| | | | Смазка №2 | 369,1 | 314,8 | 215,4 | 134,1 |
| | М400 | 1 сут. | Без смазки | 370,6 | 296,0 | 191,4 | 113,8 |
| | | | Смазка №1 | 341,4 | 274,3 | 170,5 | 92,7 |
| | | | Смазка №2 | 304,5 | 250,9 | 159,9 | 93,5 |
| | | 3 сут. | Без смазки | 397,6 | 317,8 | 207,1 | 137,1 |
| | | | Смазка №1 | 367,4 | 298,5 | 186,7 | 103,5 |
| | | | Смазка №2 | 329,4 | 277,5 | 176,6 | 111,8 |
| | | 5 сут. | Без смазки | 407,7 | 340,0 | 235,5 | 166,9 |
| | | | Смазка №1 | 402,9 | 323,1 | 215,6 | 130,9 |

| | | | | | | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Изм. № подл. | Подп. и дата | Изм. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата |
| | | | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|-----|--------|-----------|------------|-------|-------|-------|-------|
| В15 | М400 | 5 сут. | Смазка №2 | 363,9 | 304,7 | 206,0 | 146,7 |
| | | | Без смазки | 354,3 | 265,4 | 171,6 | 88,3 |
| | М500 | 1 сут. | Смазка №1 | 310,9 | 243,8 | 150,0 | 62,2 |
| | | | Смазка №2 | 272,2 | 230,2 | 145,7 | 73,7 |
| | | | Без смазки | 373,9 | 290,8 | 192,9 | 111,9 |
| | | 3 сут. | Смазка №1 | 342,3 | 274,4 | 173,1 | 78,8 |
| | | | Смазка №2 | 302,8 | 256,2 | 163,6 | 97,7 |
| | | | Без смазки | 421,6 | 330,2 | 233,9 | 152,5 |
| | 5 сут. | Смазка №1 | 383,2 | 305,4 | 209,8 | 122,3 | |
| | | Смазка №2 | 346,4 | 287,0 | 204,3 | 137,4 | |

Таблица 23 – Значения нагрузок сцепления для бетона В25

| Бетон | Цемент | Время | Смазка | Сцепление, гс/см ² | | | |
|-------|--------|--------|------------|-------------------------------|--------|----------------|-----------|
| | | | | Опалубка: | | | |
| | | | | Сталь | Фанера | Лам. фанера | Текстолит |
| В25 | М300 | 1 сут. | Без смазки | 401,0 | 331,5 | 220,6 | 136,8 |
| | | | Смазка №1 | 377,1 | 304,3 | 196,7 | 115,5 |
| | | | Смазка №2 | 346,5 | 275,5 | 183,9 | 125,9 |
| | | 3 сут. | Без смазки | 417,4 | 347,1 | 229,2 | 158,9 |
| | | | Смазка №1 | 404,9 | 329,0 | 216,0 | 128,9 |
| | | | Смазка №2 | 361,8 | 295,9 | 193,5 | 133,0 |
| | | 5 сут. | Без смазки | 444,3 | 363,4 | 250,6 | 190,0 |
| | | | Смазка №1 | 419,3 | 340,9 | 228,1 | 161,2 |
| | | | Смазка №2 | 386,6 | 301,8 | 215,8 | 166,7 |
| | М400 | 1 сут. | Без смазки | 386,0 | 308,8 | 194,5 | 127,5 |
| | | | Смазка №1 | 361,7 | 284,5 | 181,6 | 106,7 |

Подп. и дата
 Взам. инв. №
 Инв. № дубл.
 Подп. и дата
 Инв. № подл.

08.04.01-2017-639-ПЗ

Лист

62

Изм Лист № докум. Подп. Дата

| | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-------|-------|-------|-------|
| В25 | М400 | 1 сут. | Смазка №2 | 329,5 | 288,4 | 169,0 | 109,7 | |
| | | | 3 сут. | Без смазки | 408,2 | 329,6 | 221,6 | 148,8 |
| | | | | Смазка №1 | 375,9 | 307,4 | 201,9 | 123,9 |
| | | Смазка №2 | | 364,9 | 288,9 | 186,2 | 142,8 | |
| | | 5 сут. | Без смазки | 441,1 | 353,4 | 238,5 | 187,5 | |
| | | | Смазка №1 | 424,6 | 333,9 | 216,6 | 164,3 | |
| | | | Смазка №2 | 380,3 | 305,6 | 184,9 | 160,3 | |
| | | М500 | 1 сут. | Без смазки | 356,9 | 277,4 | 174,7 | 94,9 |
| | | | | Смазка №1 | 331,0 | 255,8 | 152,0 | 90,6 |
| | Смазка №2 | | | 397,4 | 232,6 | 140,1 | 92,1 | |
| | 3 сут. | | Без смазки | 385,0 | 305,8 | 196,9 | 128,8 | |
| | | | Смазка №1 | 335,2 | 275,3 | 169,1 | 92,5 | |
| | | | Смазка №2 | 323,4 | 265,9 | 163,6 | 95,1 | |
| | 5 сут. | | Без смазки | 422,7 | 334,8 | 232,3 | 169,3 | |
| | | | Смазка №1 | 394,7 | 318,1 | 211,1 | 144,1 | |
| Смазка №2 | | | 359,1 | 299,6 | 200,0 | 150,7 | | |

Таблица 24 – Значения нагрузок сцепления для бетона В35

| Бетон | Цемент | Время | Смазка | Сцепление, гс/см ² | | | |
|-------|--------|--------|------------|-------------------------------|--------|----------------|-----------|
| | | | | Опалубка: | | | |
| | | | | Сталь | Фанера | Лам. фанера | Текстолит |
| В35 | М300 | 1 сут. | Без смазки | 427,7 | 354,3 | 238,3 | 151,2 |
| | | | Смазка №1 | 410,2 | 321,9 | 218,7 | 128,3 |
| | | | Смазка №2 | 373,5 | 284,6 | 200,6 | 130,5 |
| | | 3 сут. | Без смазки | 441,4 | 367,8 | 252,7 | 176,1 |
| | | | Смазка №1 | 422,2 | 340,3 | 227,7 | 142,5 |

4.5 Анализ показателей испытания

На основе полученных экспериментальных данных составляем графики зависимости сцепления от различных факторов.

Зависимость сцепления от класса бетона на основе данных при исследовании образцов, созданных с использованием портландцемента марки 400 и использованием различной опалубки, без смазки показаны на графиках 1-4.



График 1 – Зависимость значения нагрузки сцепления от используемого бетона (опалубка – сталь)

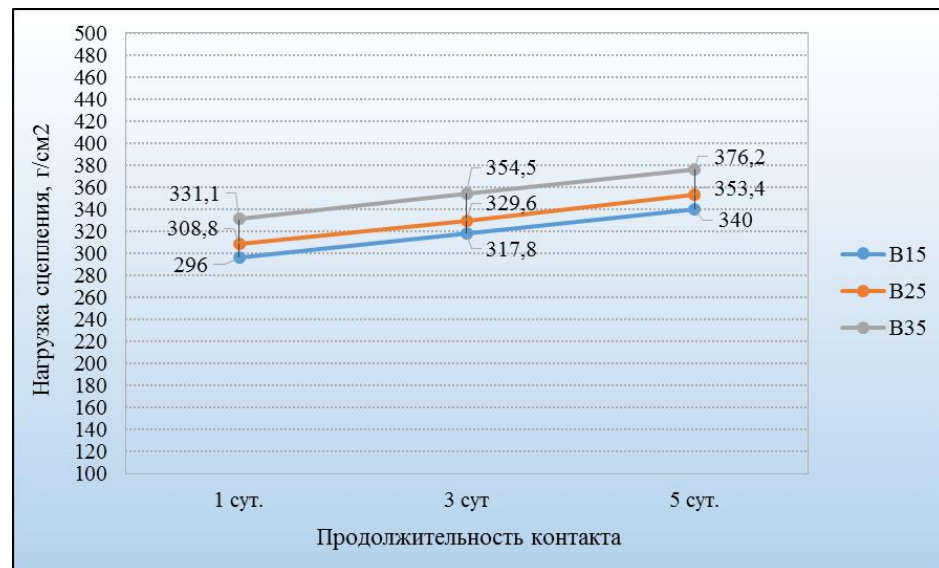


График 2 – Зависимость значения нагрузки сцепления от используемого бетона (опалубка – фанера)

| | |
|--------------|--------------|
| Изн. № подл. | Подл. и дата |
| Изн. № дубл. | Взам. инв. № |
| Изн. № подл. | Подл. и дата |
| Изн. № подл. | Подл. и дата |

| | | | | |
|------|------|----------|-------|------|
| Изн. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|------|------|----------|-------|------|



График 3 – Зависимость значения нагрузки сцепления от используемого бетона (опалубка – ламинированная фанера)



График 4 – Зависимость значения нагрузки сцепления от используемого бетона (опалубка – текстолит)

| | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Изм. № подл. | Подл. и дата | Изм. № дубл. | Взам. инв. № | Подл. и дата |
| | | | | |

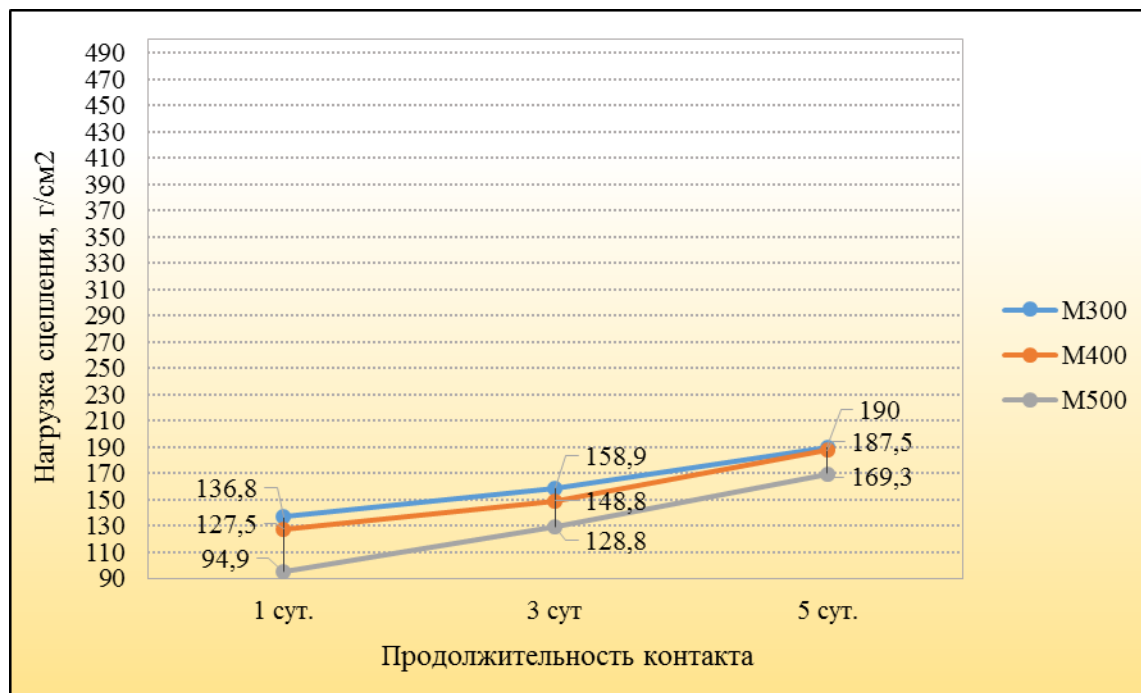


График 8 – Зависимость значения нагрузки сцепления от применяемого цемента (опалубка – текстолит)

В результате полученных данных при проведении экспериментов, можно установить, что при использовании цемента разной марки значения нагрузок сцепления уменьшаются в следующем ряду: цемент М300 > цемент М400 > цемент М500.

Разница значений варьируется в узком интервале, но при использовании цемента более высокой марки значения становятся меньше. Также можно выделить особенность: разница значений больше, при меньшем контактировании образца с опалубкой (на примере графиков – 1 сут.), чем больше продолжительность контакта бетона с опалубкой (5 сут.) разница между применением разных марок цемента, при изготовлении бетонной смеси становится менее заметной.

Можно предположить, что данная зависимость обоснована взаимодействием структуры цементного теста (которое характеризуется разными показателями в зависимости от марки цемента) с поверхностью опалубки, в следствии проникновения молекул одного материала в другой.

| | | | | |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |

Зависимость сцепления от использования смазок на основе данных при исследовании образцов бетона В25, созданных с использованием портландцемента марки 400 и использованием различной опалубки показаны на графиках 9-12 (смазка №1 – «Румас-1», смазка №2 – «Полипласт Форм тип 3»).

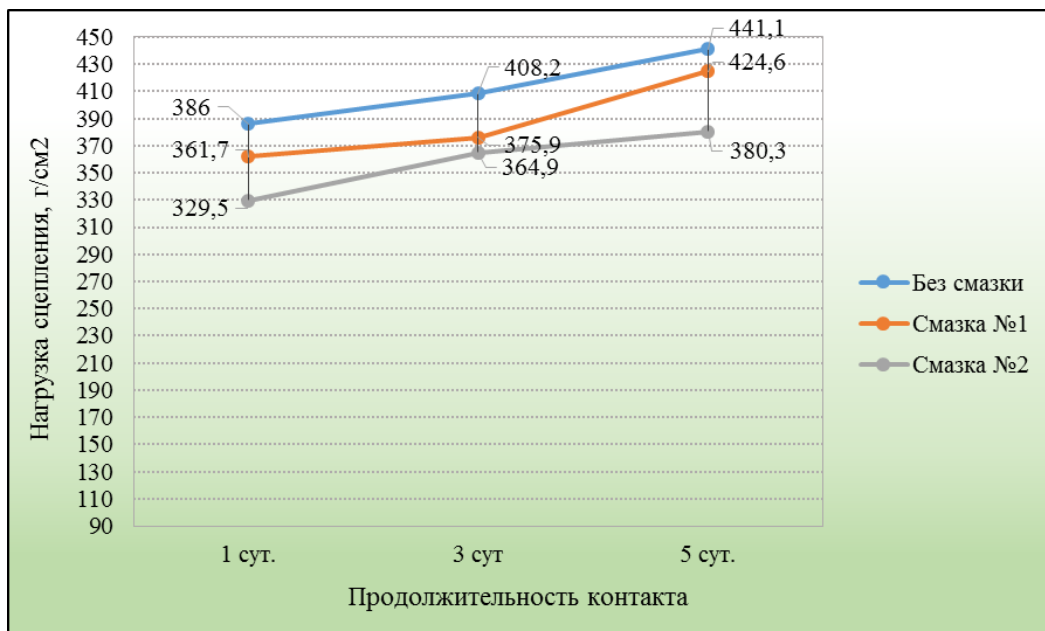


График 9 – Зависимость значения нагрузки сцепления от использования смазок (опалубка – сталь)

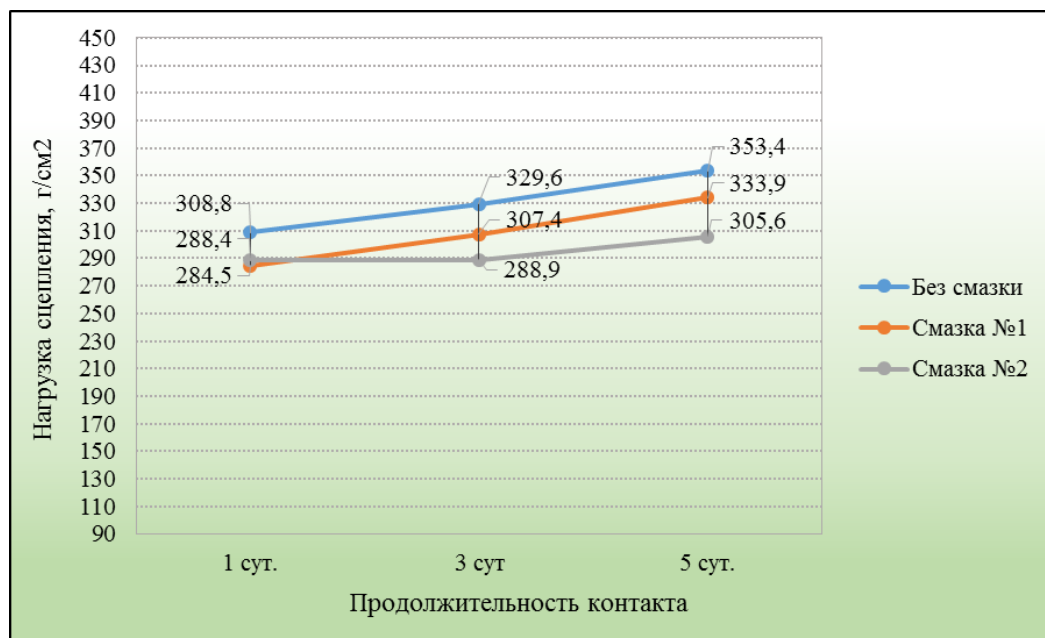


График 10 – Зависимость значения нагрузки сцепления от использования смазок (опалубка – фанера)

| | | | | |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |

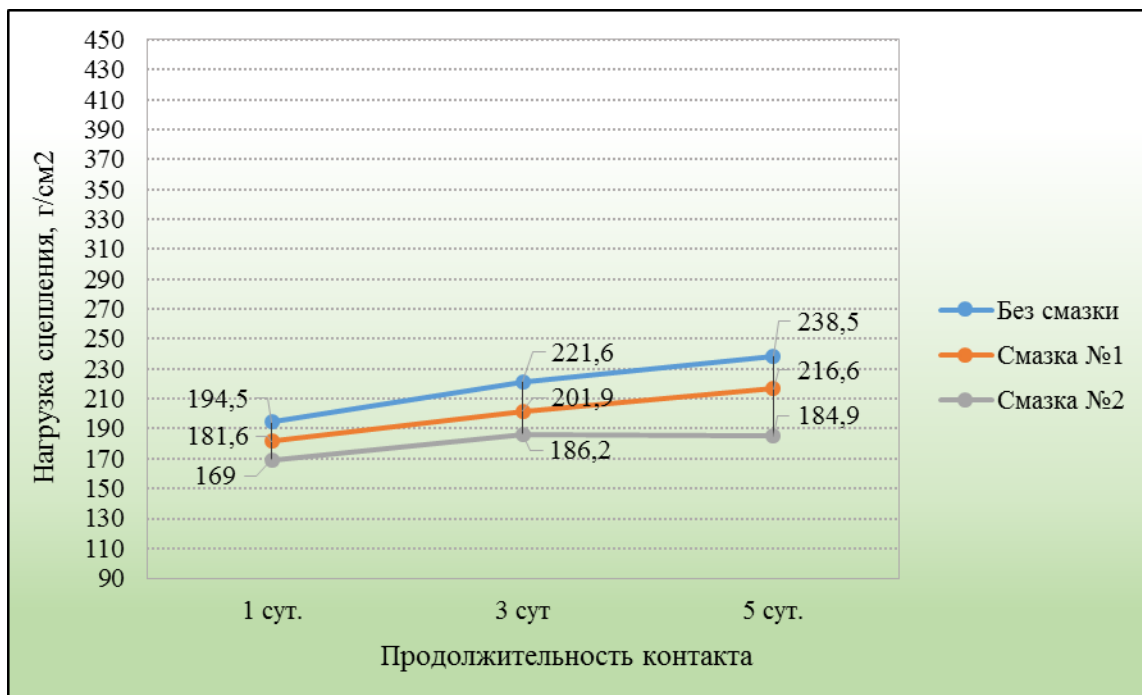


График 11 – Зависимость значения нагрузки сцепления от использования смазок (опалубка – ламинированная фанера)

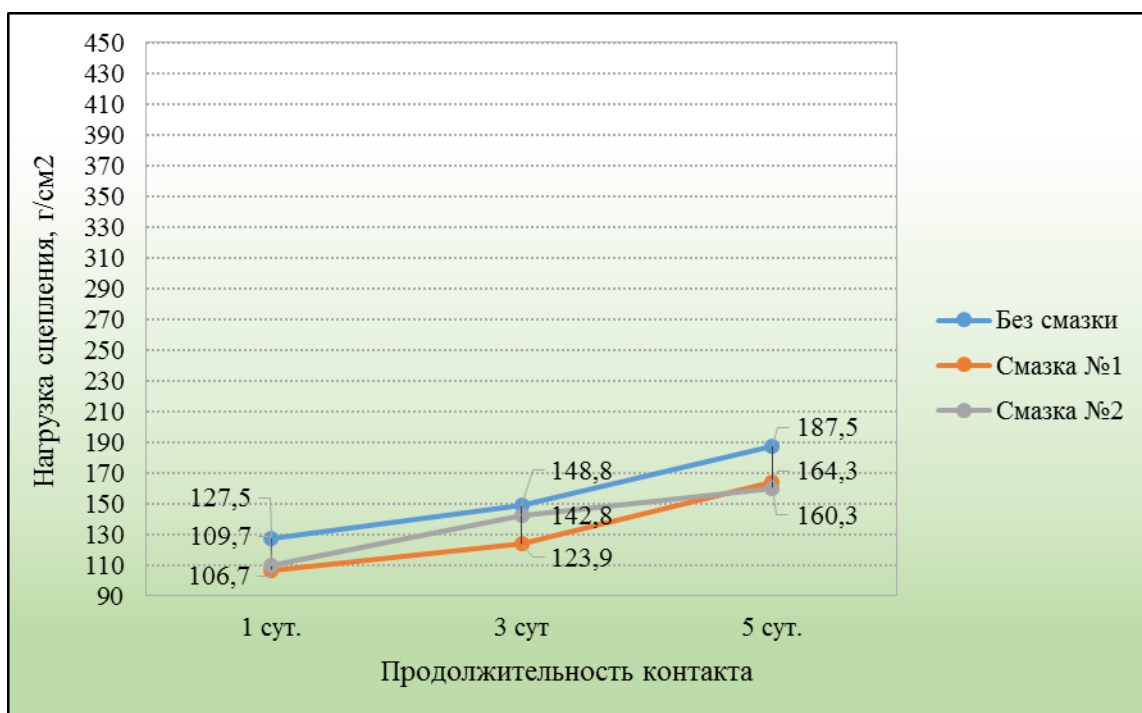


График 12 – Зависимость значения нагрузки сцепления от использования смазок (опалубка – текстолит)

| | | | | |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |

Применение смазок для опалубки позволяет уменьшить нагрузку сцепления, уменьшить усилие отрыва опалубки от бетонной смеси.

В работе были использованы смазки: «Румас-1» и «Полипласт Форм тип 3». Данные смазки являются смесями обработанных масел с определенными добавками и присадками, которые способствуют возникновению разделительного слоя между парой «бетон-опалубка».

На основе полученных данных, можно установить, что применение и первой, и второй смазки, дает положительный результат, нагрузка сцепления уменьшается. В случае применения опалубки: сталь, фанера и ламинированная фанера, эффективнее использование смазки «Полипласт Форм тип 3». При использовании опалубки: текстолит, больший эффект показало смазочное масло «Румас-1».

Обобщая свойства смазочных продуктов, стоит отметить, что их действие сформировано как на физическом, так и на химическом разделении. При этом физическое разделение обеспечивают индивидуальные рафинады селективно очищенных масел различной вязкости, а химическое разделение обеспечивают присадки. Химическое разделение формируется между карбоксильными группами жирных кислот и гидроксидом кальция бетона, в результате образования так называемого кальциевого мыла. Эти процессы и предотвращают прямое соединение опалубочного материала с готовым изделием, то есть образуется тонкий слой, не имеющий адгезии ни к бетонной смеси с мало прочной коагуляционной структурой, ни к самому бетону с устойчивым кристаллизационным состоянием.

Зависимость сцепления от температурного режима на основе данных при исследовании образцов бетона В25, созданных с использованием портландцемента марки 400 и использованием различной опалубки без смазки (продолжительность контакта – 5 сут.) показана на графике 13.

| | | | | |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

| | | | | |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

| | | | | |
|----------------------|--|--|--|--|
| 08.04.01-2017-639-ПЗ | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

| |
|------|
| Лист |
| 72 |

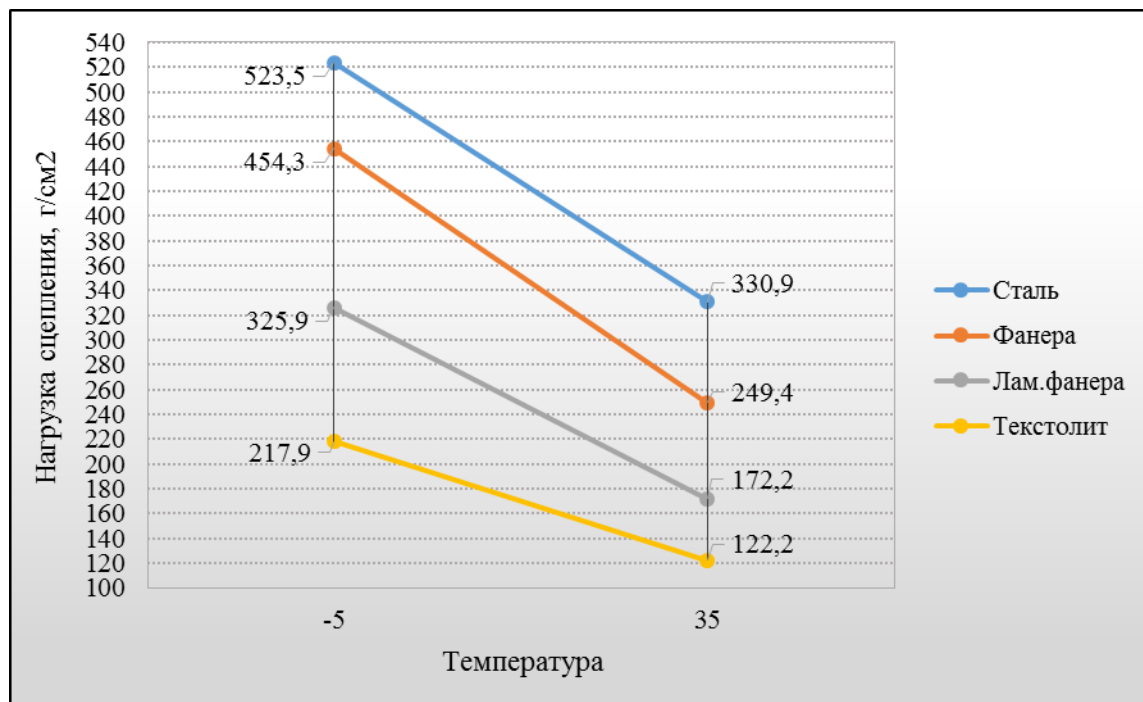


График 13 – Зависимость значения нагрузки сцепления от температурного режима

При производстве бетонных работ, температурный режим является одним из основных критериев качественного выполнения поставленных задач.

Для исследования зависимости сцепления от температурного режима образцы находились при температуре -5°C и 35°C . Исходя из полученного графика, однозначно можно сказать, что в независимости от используемой опалубки величина усилия отрыва значительно больше у образцов, созреваемых при температуре -5°C .

Для твердения цементного камня наиболее благоприятной температурой является $15-25^{\circ}\text{C}$. При температуре ниже 0°C в бетоне прекращаются процессы гидратации, т.е. прерывается взаимодействие минералов цемента с водой. Твердение бетона приостанавливается, так как бетон замерзает, превращаясь в монолит, прочность которого определяется силами замерзания.

Так как температура ниже 0°C соответствует замерзанию воды в капиллярных порах, она тем ниже, чем меньше радиус капилляров. Замерзание воды в капиллярах бетонной смеси вызывает увеличение объема содержащейся в ней воды, начинающей превращаться в лед. В связи с этим возрастает давление

| | | | | |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| | | | | |

воды, капилляр расширяется, а избыток воды вытесняется в окружающее пористое тело до расположенных от него воздушных пузырьков или иных неровностей и шероховатостей опалубки. Если воздушные пузырьки оказываются поблизости, то эта вода проникает внутрь их и замерзает, следовательно, образуется ледяная скорлупа по поверхности соприкосновения опалубки и бетона. В свою очередь, образование ледяных вкраплений, ледяной прослойки, в поверхности соприкосновения, увеличивает сцепление между опалубочным материалом и бетоном.

Для получения бетона проектного качества в зимних условиях необходимо обеспечить для него температурно-влажностный режим, при котором физико-химические процессы твердения не нарушаются и не замедляются.

В заключении анализа можно выделить основные факторы, которые оказывают большее влияние на усилие отрыва опалубки от бетонной смеси – это класс используемого бетона, температурный режим и применение смазок для опалубки.

Класс используемого бетона не всегда возможно изменить, так как каждой марке соответствует своя область применения. Последствия от такой характеристики, как температурный режим, при котором бетон набирает прочность, возможно изменить применением утепленных опалубочных материалов, электрического обогрева, также введение модифицирующих-противоморозных добавок, ускорителей твердения в бетонную смесь позволяет повысить «морозоустойчивость» бетона. Смазки для форм и опалубки на сегодняшний день довольно часто используются при работе с конструкциями. И имеют положительные оценки. Ввиду этого, заключительный этап работы – экономическая оценка применяемых в исследованиях смазок.

| | |
|-------------|--------------|
| Инв. № подл | Подп. и дата |
| | Взам. инв. № |
| | Инв. № дубл. |
| | Подп. и дата |

| | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

08.04.01-2017-639-ПЗ

Таблица 26 – Принятые значения параметров конструкции

| Параметр | Значение, м |
|-----------------|-------------|
| Ширина ленты А | 5 |
| Длина ленты В | 5 |
| Высота ленты С | 1 |
| Толщина ленты Д | 0,5 |

Исходя из принятой конструкции, вычисляем необходимое количество бетона, опалубки (таблица 27).

Таблица 27 – Потребность в ресурсах

| Ресурс | Значение |
|---|----------|
| Бетон, м ³ (V _б) | 9 |
| Опалубка, м ² (S _о) | 38 |
| Продолжительность аренды опалубки, месяц (t) | 0,17 |
| Количество смазочного масла «Румас-1», л на необходимую опалубку (L ₁) | 0,95 |
| Количество смазки «Полипласт Форм тип 3», л на необходимую опалубку (L ₂) | 0,76 |

Соответственно установленным и принятым данным для расчета экономической эффективности, производим расчет по формуле 9:

$$\Sigma = V_б * C_б + S_о * C_о * t + C_с * L \quad (9)$$

где: V_б – объем бетона, м³;

C_б – стоимость бетона за 1 м³, руб;

S_о – площадь опалубки, м²;

C_о – стоимость аренды опалубки, руб;

Инв. № подл. Подп. и дата
 Инв. № дубл. Подп. и дата
 Взам. инв. №
 Подп. и дата

| | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

08.04.01-2017-639-ПЗ

Лист

76

t – продолжительность аренды, месяц;

C_c – стоимость смазки для опалубки, руб;

L – количество смазки, л.

Опалубка – сталь, бетон – В15, смазка – «Румас-1»:

$$\Sigma = 9 \cdot 2500 + 38 \cdot 600 \cdot 0,17 + 900 \cdot 0,95 = 22500 + 3876 + 855 = 27231 \text{ руб.}$$

Опалубка – сталь, бетон – В15, смазка – «Полипласт Форм тип 3»:

$$\Sigma = 9 \cdot 2500 + 38 \cdot 600 \cdot 0,17 + 900 \cdot 0,76 = 22500 + 3876 + 760 = 27136 \text{ руб.}$$

Аналогично происходит вычисление для последующих вариантов (таблица 28).

Таблица 28 – Расчет экономической эффективности

| Опалубка | Бетон | Суммарный расход, руб | |
|-----------------------|-------|-----------------------|------------------------|
| | | Используемая смазка | |
| | | «Румас-1» | «Полипласт Форм тип 3» |
| Сталь | В15 | 27231 | 27136 |
| | В25 | 30831 | 30736 |
| | В35 | 36231 | 36136 |
| Фанера | В15 | 26585 | 26490 |
| | В25 | 30185 | 30090 |
| | В35 | 35585 | 35490 |
| Ламинированная фанера | В15 | 27554 | 27459 |
| | В25 | 31154 | 31059 |
| | В35 | 36554 | 36459 |
| Текстолит | В15 | 28394 | 28299 |
| | В25 | 31994 | 31899 |
| | В35 | 37394 | 37299 |

Инв. № подл. Подп. и дата
 Инв. № дубл. Подп. и дата
 Взам. инв. №
 Подп. и дата

| | | | | |
|-----|------|----------|-------|------|
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|-----|------|----------|-------|------|

08.04.01-2017-639-ПЗ

Лист

77

Анализируя вышеизложенный расчет экономической эффективности, можно сделать вывод: разница в стоимостном эквиваленте использования для опалубки смазочного масла «Румас-1» и смазки «Полипласт Форм тип 3» не значительна.

При меньшей стоимости масла «Румас-1», но его большего расхода на 1 м² опалубки (расход «Румас-1» – 25 г/м², расход «Полипласт Форм тип 3» – 20 г/м²) его применение является менее экономически эффективным.

Однако при этом необходимо учитывать на сколько эффективны антиадгезионные смазки в значениях отрыва сцепления, в разнице сил сцепления без применения смазки и с ее использованием.

На основе расчета и данных эксперимента, смазка «Полипласт Форм тип 3» является более эффективной для использования с опалубкой из стали, фанеры и ламинированной фанеры. В случае применения опалубки – текстолит, наиболее эффективно смазочное масло «Румас-1».

| | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|--|--|--|--|------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | 08.04.01-2017-639-ПЗ | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 78 |
| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | | | | | |

более эффективна при использовании опалубки – текстолит, в свою очередь смазка «Полипласт Форм тип 3, для опалубки – сталь, фанера, ламинированная фанера).

6. Наименее значимый фактор влияния на сцепление бетонной смеси с опалубкой – марка цемента. Разница силы сцепления варьируется в довольно узком интервале, но, однако, чем выше марка цемента, тем значение разницы отрыва несколько меньше.

7. Неотъемлемым и важным элементом технологии опалубочных работ следует считать смазки, которые при нейтрализации сцепления снижают затраты на демонтаж опалубки, исключая преждевременный износ. Ежегодно на стройках России расходуется от 110 до 130 тыс. тонн смазок, стоимостью 500-640 млн. рублей. Исходя из этого заключительным этапом была произведена оценка экономической эффективности использования выбранных смазок. По результатам расчета, наиболее эффективная смазка – «Полипласт Форм тип 3».

| | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|------|----------|-------|------|------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | 08.04.01-2017-639-ПЗ | | | | | Лист |
| | | | | | Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | 80 |

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ребиндер, П. А. Проблемы физико-химической механики дисперсных структур и материалов / П. А. Ребиндер. – Рига: ЗИНАТНЕ, 1967 – 624 с.
2. Дерягин, Б. В. / Адгезия твердых тел / Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова. – М.: Наука, 1973 – 102 с.
3. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции. – М.: Стандартиформ, 1988.
4. Sasse H. R. Adgesion between polymers and concrete / H.R. Sasse/ – Springer Science + Business Media B.V., –1986 – 761 с.
5. Евдокимов Н. И. Технология монолитного бетона и железобетона / Н. И. Евдокимов, А. Ф. Мацкевич, В. С. Сытник. – М.: Высшая школа, 1980 – 335 с.
6. Технические условия 0258-038-58042865-2009. Смазка для форм и опалубки «ПОЛИПЛАСТ ФОРМ». – Новомосковск: ООО «Полипласт Новомосковск», 2009.
7. Технические условия 0258-001-32269471-2014. Составы разделительные «Румас-1», «Румас-2». – Екатеринбург: ООО «Румас», 2014.
8. Баженов Ю. М. Технология бетона / Ю. М. Баженов. – М.: Изд-во АВС, 2002 – 500 с.
9. Рыков В. В. Математическая статистика и планирование эксперимента / В. В. Рыков, В. Ю. Иткин. – М.: Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина, 2008. – 210 с.
10. Кузнецова Е. В. Математическое планирование эксперимента / Е. В. Кузнецова. – Пермь: Пермский государственный технический университет, 2011 – 33 с.
11. ГОСТ 10178-85. Портландцемент и ШПЦ. – М.: Стандартиформ, 2008.
12. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных и горных пород для строительных работ. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2010.
13. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2015.

| | | | | |
|------|------|----------|-------|------|
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |

14. ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2012.

15. Афанасьев А. А. Бетонные работы / А. А. Афанасьев. – М.: Высшая школа, 1991. – 288 с.

16. Долломатов М. Ю. Адгезия и фазовые переходы в сложных высокомолекулярных системах / М. Ю. Долломатов, М. Ю. Тимофеева, Н. Г. Будрина. – Уфа: Уфимский технологический институт сервиса, 2001 – 41 с.

17. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2011.

18. ГОСТ 10181-2014. Смеси бетонные. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2015.

19. Руководство по эксплуатации Мк2.790.053 РЭ. Весы настольные электронные общего назначения МК_А. – Санкт-Петербург: ЗАО «Масса-К», 2006.

20. Гончаров А. А. Метрология, стандартизация и сертификация / А. А. Гончаров, В. Д. Копылов. – М.: Академия, 2005 – 236 с.

21. Технические условия 132300.00.000. Камера пропарочная универсальная КПУ-1М.

| | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----|------|----------|-------|------|----------------------|------|
| Инв. № подл. | Подл. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | 08.04.01-2017-639-ПЗ | Лист |
| | | | | | | | | | | | 82 |