

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

Архитектурно-строительный институт

(наименование института полностью)

Центр архитектурных, конструктивных решений и организации строительства

(наименование)

08.04.01 Строительство

(код и наименование направления подготовки)

Строительство, эксплуатация и реконструкция зданий и сооружений

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Бетоны ускоренного твердения с использованием полифункциональных добавок

Обучающийся

А.А. Зими́на

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

канд. техн. наук, доцент, В.Н. Шишканова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

канд. пед. наук, доцент, О.Н. Брега

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

Содержание

Введение	4
1 Теоретические аспекты в технологии повышения прочности бетона.....	8
1.1 Набор прочности бетона, условия твердения и факторы, влияющие на набор прочности.....	8
1.2 Способы ускорения набора прочности бетона	11
1.2.1 Технологические способы	12
1.2.2 Тепловые способы.....	14
1.2.3 Химические способы	24
1.3 Виды и характеристики добавок, используемых для регулирования свойств бетонов	25
1.4 Комплексные добавки, состав и механизм воздействия на структуру бетонов.....	28
2 Программа экспериментальных исследований	31
2.1 Разработка программы проведения испытаний.....	31
2.2 Свойства и характеристики применяемых материалов.....	32
2.2.1 Вяжущее вещество	32
2.2.2 Мелкий заполнитель	33
2.2.3 Крупный заполнитель	33
2.2.4 Добавки.....	34
2.3 Методы экспериментальных исследований.....	36
2.4 Изготовление партии контрольных образцов-кубов	42
3 Оценка влияния химических добавок на прочность бетона, твердевшего в различных условиях.....	47
3.1 Применение бетонов ускоренного твердения. Техническое описание конструкции.....	47
3.2 Экспериментальное определение концентрации комплексной добавки (первый этап).....	48

3.3 Экспериментальная проверка эффективности комплексной добавки (второй этап).....	58
3.3.1 Заводской режим тепловой обработки (Режим 1)	59
3.3.2 Сокращенный режим тепловой обработки (Режим 2)	64
3.3.3 Твердение в нормальных условиях	67
4 Анализ экономической эффективности производства железобетонной продукции	74
4.1 Эффективность беспропарочного производства железобетонной продукции	77
4.2 Эффективность сокращенного режима тепловой обработки бетона при производстве железобетонной продукции.....	84
Заключение	91
Список используемой литературы и используемых источников	93

Введение

Строительство является основополагающей отраслью экономики и занимает важное место в развитии государства. С каждым днем технологии строительства совершенствуются, появляются новые материалы, позволяющие реализовать объекты не только уникальные по своему внешнему виду, но и в максимально короткие сроки.

Одним из древнейших и наиболее широко используемых строительных материалов является бетон. Почти ни одно строительство невозможно представить без использования данного материала. Бетон в 21 веке является основным конструкционным материалом в строительстве зданий и сооружений, поэтому в настоящее время он остается лидирующим объектом исследования и совершенствования в строительном материаловедении.

Актуальность работы. Современная строительная индустрия ставит перед собой несколько целей, ключевой из которых является – возможность реализации объекта в короткие сроки. Преимущественной особенностью бетона является сокращение сроков строительства. Для этого необходимо лишь создать оптимальные условия для его твердения.

В настоящее время существует множество способов ускорения набора прочности бетона. Наиболее распространенным методом интенсификации твердения бетона является тепловая обработка. Данный метод широко распространен как при производстве сборного железобетона, так и при монолитном строительстве. Однако тепловая обработка требует больших ресурсо- и энергозатрат при производстве работ, а также сопутствующих крупных капиталовложений.

Наряду с тепловой обработкой современное строительство невозможно представить без использования различных химических добавок, которые способны увеличить набор прочности бетона не только в зимний период, но и в летний. В результате применения данных добавок возможно сократить

продолжительность процесса тепловой обработки, увеличив при этом объемы изготавливаемой продукции.

Целью работы является получение бетонов ускоренного твердения путем модифицирования структуры с помощью введения комплексной полифункциональной добавки.

Гипотеза исследования. Если правильно использовать рационально подобранный опытным путем комплекс химических добавок, то можно получить бетон ускоренного твердения с целью дальнейшего увеличения объемов изготавливаемой продукции.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- обзор учебной, научной, нормативной, справочной литературы и публикаций по вопросам, касающимся факторов, влияющих на набор прочности бетона, а также способов ускорения твердения бетона,
- исследование и анализ влияния комплексных добавок, включающих ускорители твердения, на прочность бетона,
- исследование и анализ прочности бетона при различных способах интенсификации его твердения,
- анализ финансово-экономического эффекта использования комплексных добавок при производстве железобетонной продукции.

Предметом исследования магистерской диссертации являются полифункциональные добавки в бетонах.

Объектом исследования магистерской диссертации являются способы и методы повышения интенсивности нарастания прочности при твердении бетона в раннем возрасте.

Методы исследования: анализ и эксперимент.

В работе используется статистическая обработка полученных данных для получения зависимостей исследуемых величин от варьируемых факторов и оценки надежности экспериментальных данных.

Научную новизну магистерской диссертации составляют:

- разработан оптимальный состав бетона с использованием полифункциональной добавки, обладающий интенсивностью нарастания прочности в раннем возрасте, при различных способах тепловой обработки,
- выявлено, что полифункциональная добавка обеспечивает сокращение продолжительности тепловой обработки в условиях заводского производства, а также изготовление железобетонной продукции без использования тепловой обработки.

Практическая значимость состоит в возможности применения комплексной добавки в заводских условиях для сокращения тепловой обработки бетона с последующим увеличением объемов изготавливаемой продукции.

Апробация результатов исследования велась на протяжении всего изучения данной темы. В ходе написания работы были опубликованы следующие статьи:

1. Зими́на А.А. Современные технологии ускорения набора прочности бетона // Студенческие дни науки в ТГУ – 2022: научно-практическая конференция : Тольятти, 4-29 апреля 2022 года : сборник студенческих работ / отв. за вып. С.Х. Петерайтис. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2023. С. 36-40

2. Зими́на А.А. Полифункциональные добавки для регулирования твердения бетонов // Молодежь. Наука. Общество - 2021. Сборник студенческих работ Всероссийской студенческой научно-практической междисциплинарной конференции. Отв. за выпуск С.Х. Петерайтис. Тольятти, 2023. С. 62-67

3. Шишканова В.Н., Зимина А.А. О возможности изготовления железобетонной продукции без тепловой обработки // СОВРЕМЕННЫЕ НАУЧНЫЕ ЗНАНИЯ: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2023. С. 16-20

На защиту выносятся:

- теоретические аспекты в технологии повышения прочности бетона,
- влияние современных химических добавок на прочность бетона, твердевшего в различных условиях,
- анализ экономической эффективности производства железобетонной продукции.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав (разделов), заключения, содержит 34 рисунка, 24 таблицы, список используемой литературы (40 источников). Основной текст работы изложен на 96 страницах.

1 Теоретические аспекты в технологии повышения прочности бетона

1.1 Набор прочности бетона, условия твердения и факторы, влияющие на набор прочности

Твердение бетона – это сложный физико-химический процесс, в ходе которого образуются новые соединения при взаимодействии цемента с водой. Прочность бетон набирает только при определенных условиях. Нормальными условиями твердения бетона считаются условия при температуре окружающей среды (20 ± 2) °С и относительной влажности воздуха не менее 90 %. При таком твердении прочность бетона нарастает относительно быстро и через (7-14) суток она достигает (60-70) % от марочной. «При достаточной влажности воздуха рост прочности бетона продолжается длительное время. Для ориентировочного определения прочности бетона в разном возрасте используют формулу:

$$R_n = R_{28} \cdot \left(\frac{\lg n}{\lg 28} \right), \text{ МПа}, \quad (1)$$

где R_n, R_{28} – прочность бетона на сжатие в возрасте n и 28 суток;
 $\lg n, \lg 28$ – десятичные логарифм возраста бетона» [1]

На прочность бетона оказывают влияние ряд факторов:

- «факторы, влияющие на плотность цементного камня и бетона (например: активность цемента, его тонкость помола, реакционная способность клинкерных минералов, В/Ц, водосодержание бетонной смеси, температурно-влажностные условия твердения, возраст бетона, химические добавки-ускорители, активные минеральные добавки, степень уплотнения бетонной смеси),

- факторы, определяющие сцепление цементного камня с заполнителем бетона (например: форма, размеры, рельеф заполнителей, температурные, влажностные и усадочные напряжения, расхождение коэффициентов поперечных деформаций компонентов бетона),
- факторы, определяющие воздействия внешней среды (например: температура, влажность)» [22].

Прочность бетона находится в прямой зависимости от активности цемента, то есть на более активных цементах бетоны намного прочнее. Это характеризуется следующей зависимостью:

$$R_b = (R_{ц}). \quad (2)$$

«С увеличением содержания цемента в бетонной смеси происходит рост прочности бетона, однако это влечет за собой ряд отрицательных факторов – происходит увеличение усадки и ползучести» [22].

Так же важную роль в прочности бетона является водоцементное отношение. «Минимальное количество воды, которое необходимо для начала процесса гидратации цемента (около 25 % от массы цемента), не обеспечивает нужную пластификацию смеси, поэтому в целях удобоукладываемости смеси количество воды повышается до (40-70) %. Однако излишнее количество воды, вводимое в бетонную смесь для повышения удобоукладываемости, неблагоприятно сказывается на прочности бетона, снижая ее, так как вода делает структуру бетона более пористой» [1]. В свою очередь недостаток водоцементного отношения не обеспечивает необходимое уплотнение смеси, как это было сказано ранее, что так же отрицательно сказывается на прочности бетона (рисунок 1). Поэтому не рекомендуется снижать водоцементное отношение меньше 20 %.

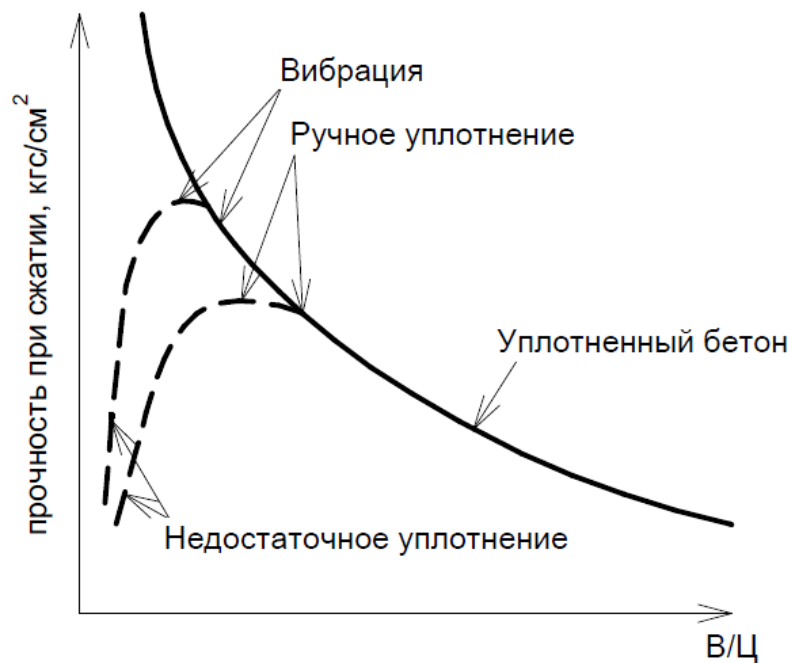


Рисунок 1 – Зависимость прочности бетона от водоцементного отношения

Одним из ключевых факторов, влияющих на прочность бетона, является прочность сцепления цементного камня с заполнителем. «При хорошем сцеплении цементной матрицы с заполнителями и их высокой прочности будет реализовываться благоприятное влияние разгрузки матрицы и прочность бетона возрастет. Высокое сцепление в данном случае обусловит включение жестких и прочных заполнителей в работу бетона до исчерпания прочностных возможностей одной из фаз – матрицы или заполнителя, что обеспечит упрочнение бетона в силу разгруженности матрицы и высокой прочности заполнителей. В этих условиях будет реализовываться так называемый эффект «армирования» бетона заполнителем. При низком сцеплении матрицы с заполнителями разрушение может происходить при весьма малой нагрузке, при этом не сможет быть реализована ни высокая прочность заполнителей, ни разгруженность матрицы, а прочность бетона окажется ниже прочности матрицы» [18].

Немаловажное значение на прочность бетона оказывают влияние температурно-влажностные условия. С понижением влажности воздуха

происходит испарение воды с поверхности бетона, что способно привести к его обезвоживанию, появлению усадочных трещин, а также снижению и (или) прекращению набора прочности. Снижение температуры окружающей среды также затормаживает процесс набора прочности бетона вследствие уменьшения химической активности воды (рисунок 2).

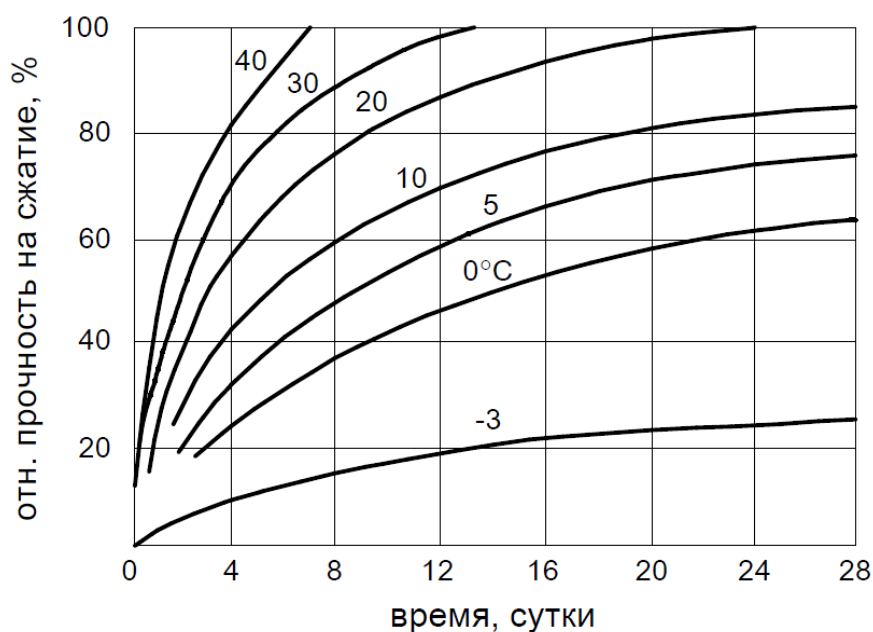


Рисунок 2 – Зависимость набора прочности бетона от внешней температуры

Научно доказано, что при температуры до минус 5 °С бетон твердеет медленно благодаря незамерзающей воде, содержащейся в порах бетонного тела, а при температуре минус 10 °С процесс гидратации прекращается.

1.2 Способы ускорения набора прочности бетона

В настоящее время используются различные способы интенсификации твердения бетона (рисунок 3).



Рисунок 3 – Способы интенсификации твердения бетона

Все указанные методы имеют как ряд достоинств, так и ряд недостатков.

1.2.1 Технологические способы

Технологические способы ускоряют кинетику набора прочности бетона за счет применения быстротвердеющих цементов, снижения водоцементного отношения при увеличении расхода цемента, а также использования жестких бетонных смесей.

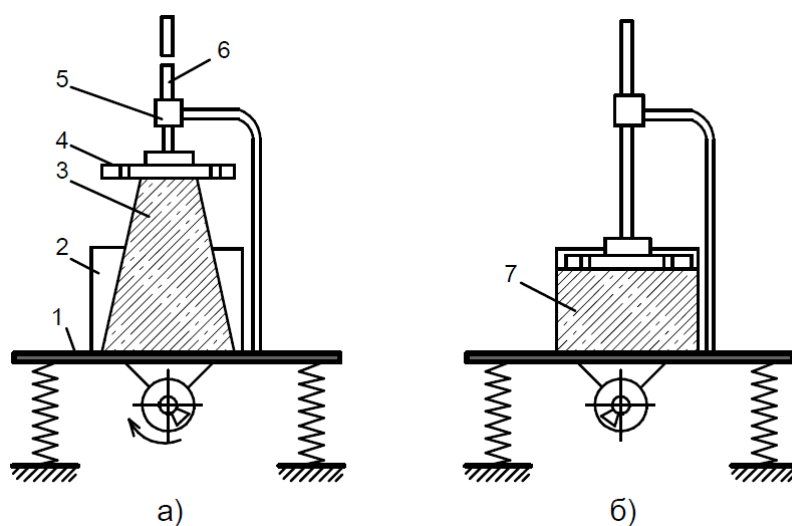
«Быстротвердеющий цемент – это бетонный раствор, в котором благодаря составу и особенностям производства происходит ускоренная гидратация, что значительно сокращает срок набора прочности и полного цикла затвердевания смеси» [6]. Данный цемент используется как при производстве железобетонных изделий, так и при монолитном строительстве, когда сроки изготовления изделий и выполнения работ ограничены.

Различают два вида быстротвердеющих цемента:

- особобыстротвердеющий цемент: характеризуется малым количеством минеральных добавок, в своем составе содержит 86 % алита и 8 % целита, плотность бетона через сутки составляет 30 МПа,
- сверхбыстротвердеющий цемент: через (2-4) часа плотность бетона составляет 10 МПа, через сутки бетон способен набрать до 70 % марочной прочности.

Недостатками быстротвердеющих цемента являются высокая стоимость материала из-за применения высококачественного сырья, использование дополнительного современного оборудования, наличие

«Жесткость – характеристика удобоукладываемости бетонных смесей, у которых не наблюдается осадки конуса (ОК = 0)» [23]. Жесткость определяется с помощью специального прибора, – вискозиметра (рисунок 4), по времени вибрации (в секундах), которое необходимо и достаточно для уплотнения отформованного из бетонной смеси конуса.



а) – начальное положение прибора; б) – конечное положение прибора

Рисунок 4 – Схема определения жесткости бетонной смеси

«Данный прибор представляет собой металлический цилиндр 2 диаметром 240 мм и высотой 200 мм со штангой 6, втулкой 5 и металлическим диском 4 с шестью отверстиями. Вискозиметр устанавливают на виброплощадке 1, внутрь помещается форма-конус 3, которую заполняют бетонной смесью в три слоя, штыкуя каждый слой 25 раз. Затем форму-конус снимают и, поворачивая штатив, опускают металлический диск 4 на поверхность бетонной смеси и включают виброплощадку. Вибрирование продолжается до момента выделения цементного теста из двух отверстий диска 4» [23].

Отличительным признаком жестких бетонных смесей является небольшое количество воды в составе и соответственно малое водоцементное отношение. Основное применение данных смесей – изготовление сборного железобетона на заводах ЖБИ.

1.2.2 Тепловые способы

Наиболее распространенным методом интенсификации набора прочности бетона как при производстве сборных железобетонных конструкций, так и при монолитном строительстве является метод тепловой обработки. Данный способ основан на использовании таких составляющих, как пар, вода, электроэнергия, инфракрасные лучи.

В результате температурного воздействия химическая активность воды возрастает: крупные ассоциаты молекул воды распадаются на более мелкие, становясь намного подвижнее, они интенсивней взаимодействуют с частицами цемента, что приводит к ускорению процесса гидратации.

В заводских условиях использованы разнообразные виды тепловой обработки, например:

- пропаривание бетона в ямных или других камерах при нормальном давлении,
- запаривание бетона в автоклавах при повышенных давлении и температуре.

В соответствии с нормативной документацией «тепловая обработка может осуществляться в пропарочных камерах периодического и непрерывного действия, под переносными колпаками на стендах и других установках или в специальных термоформах, термопакетах, кассетах, обеспечивающих получение заданных условий твердения. В качестве теплоносителя при непосредственном его контакте с бетоном изделия могут применяться насыщенный водяной пар или паровоздушная смесь, а при прогреве изделий в обогреваемых формах – водяной пар, горячий воздух и любые другие теплоносители, в том числе электронагреватели различных типов, обеспечивающие равномерность прогрева поверхностей формы» [27].

Режим тепловой обработки – температурно-временное воздействие на бетон, состоящее из отдельных стадий (предварительная выдержка, температурный подъем, изотермия, охлаждение).

Предварительная выдержка. Первой стадией тепловой обработки бетона является предварительная выдержка, которая обеспечивает нормальные условия формирования начальной структуры бетона. «В период предварительного выдерживания складывается определенная структура бетона, которая формируется в сравнительно спокойных условиях (при отсутствии интенсивной миграции влаги, температурных деформаций составляющих бетон материалов и так далее). Эта структура становится способной воспринимать тепловое воздействие при подъеме температуры без существенного изменения» [4].

Продолжительность предварительной выдержки зависит от ряда факторов:

- марка цемента,
- водоцементное отношение,
- величина открытой поверхности,
- массивность изделия.

При стендовой технологии изготовления изделий продолжительность выдержки изделия составляет 1 час, при агрегатно-поточной и конвейерной –

0,5 часа, при кассетном способе изготовления железобетонных изделий тепловую обработку разрешается проводить без стадии предварительной выдержки.

Подъем температуры. Важную роль на данном этапе играет скорость температурного подъема, так как она оказывает влияние на развитие деструктивных процессов. Скорость подъема зависит:

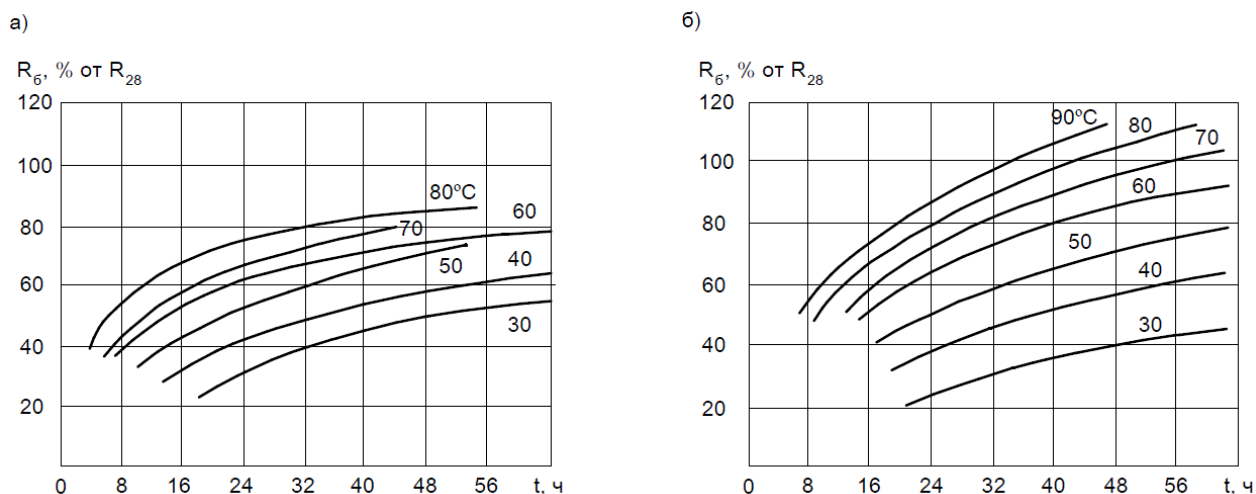
- от времени предварительной выдержки,
- расходов воды,
- массивности изделия,
- величины открытой поверхности.

Температурный подъем может протекать с постоянной или переменной скоростью. Переменная скорость может быть прогрессирующей или ступенчатой.

Суть прогрессирующе переменной скорости нарастания температуры состоит в увеличении скорости нарастания прямо пропорционально повышению начальной прочности бетона: плюс 10 °С – в первый час, плюс 15 °С – во второй час и плюс (20-30) °С (в час) – в последующие часы.

Ступенчатая переменная скорость нарастания прочности заключается в увеличении температуры до плюс (30-40) °С в первые (1-1,5) часа с последующим интенсивным нарастанием до максимальной температуры.

Изотермический прогрев. Является основной стадией тепловой обработки изделия. Оптимальная температура, при которой происходит изотермия, зависит от вида цемента: при использовании портландцемента температура достигает плюс (80-85) °С, при шлакопортландцементе и пуццолановом портландцементе – плюс (90-96) °С (рисунок 5).



а) – для портландцемента; б) – для шлакопортландцемента

Рисунок 5 – Кривые нарастающей прочности бетона при пропаривании

Длительность этапа изотермии зависит от требуемой прочности бетона по окончании пропаривания.

Охлаждение бетона. Конечным этапом тепловой обработки бетона является его охлаждение. Так как на данной стадии возможен риск возникновения деструктивных явлений вследствие перепада температур, скорость охлаждения принимается не более плюс 30 °С в час.

Важно учитывать, что при извлечении изделия из камеры температурный перепад между окружающей средой и самим изделием не должен превышать плюс 40 °С.

Общая продолжительной тепловой обработки для подвижных и малоподвижных бетонных смесей составляет (14-16) часов, из жестких – (12-14) часов. Режимы тепловой обработки подвигаются для каждого вида изделий и отражаются в технологических картах.

Классический режим тепловой обработки на заводах ЖБИ длится (14-18) часов при температуре пропаривания плюс 80 °С (рисунок б).



1 – предварительная выдержка изделия; 2 – подъем температуры;
3 – изотермическая выдержка; 4 – остывание изделия

Рисунок 6 – График тепловой обработки

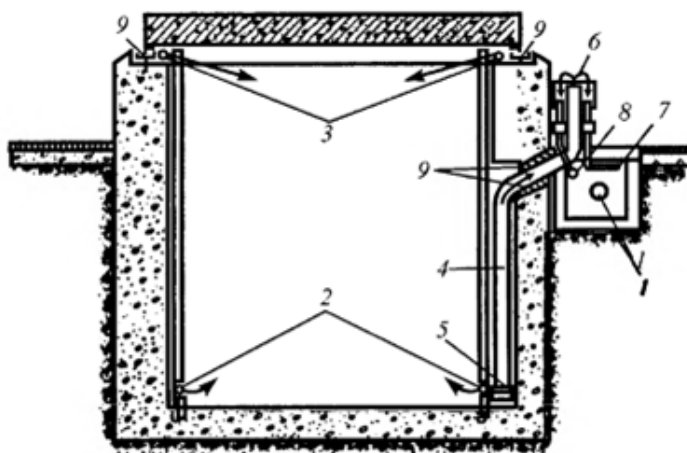
На заводах по производству железобетонных изделий тепловая обработка изделий производится в ямных пропарочных камерах, горизонтальных и вертикальных непрерывного действия.

Ямные камеры. Ямные камеры периодического действия полностью (или частично) располагаются ниже отметки пола цеха или полигона. «Камера состоит из стенок, пола с канализацией для стока, крышки с гидравлическим затвором и системой паропроводов с запорной и регулировочной арматурой для подачи пара» [1].

Работа камер происходит по определенному циклу, включающему в себя все этапы тепловой обработки.

«Пар подается через закольцованную перфорированную трубу, которая располагается у пола камеры по ее периметру. Пар, поднимаясь вверх и смешивая с воздухом, образует паровоздушную смесь, при этом создается перепад температур по высоте до плюс (30-40) °C – наибольшая температура вверху, наименьшая внизу камеры» [1]. То есть находящиеся в нижней части камеры изделия оказываются в неблагоприятных условиях.

На рисунке 7 представлен более совершенная конструкция ямной камеры.



1 – паропровод; 2, 3 – нижние и верхние перфорированные трубы; 4 – обратная труба; 5 – гидравлический клапан; 6 – контрольный конденсатор; 7 – водопроводная труба; 8 – трубопровод подогретой воды, 9 – уплотнение

Рисунок 7 – Конструкция ямной камеры

Отличие заключается в трубе для отвода паровоздушной смеси или избытка насыщенного пара, а также в верхней разводке пара помимо нижней. Такое конструкционное решение позволяет производить пропарку в среде насыщенного пара без примеси воздуха, а не только в паровоздушной среде. Для этой цели в начале тепловой обработки пар подается через нижнюю разводку. Когда температура достигает плюс (80-90) °С, нижняя разводка отключается, и пар подается через верхнюю разводку. Благодаря тому, что камера заполняется только паром, достигается температура, близкая к плюс 100 °С. Во всем объеме камеры создаются благоприятные условия.

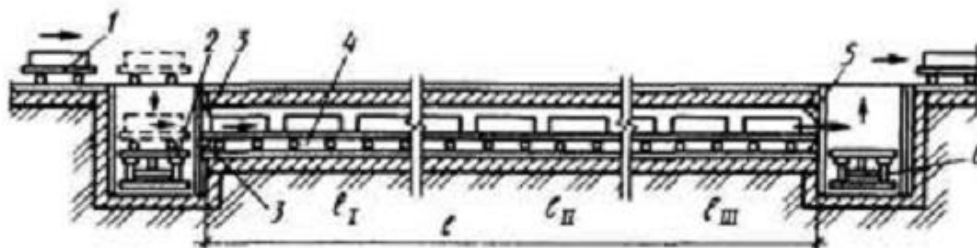
Тепловые установки непрерывного действия. К данному виду камер относят: многоярусные туннельные, щелевые и вертикальные камеры.

Туннельные камеры – горизонтальные туннели, в которых изделия передвигаются в вагонетках по рельсовым путям. Камеры имеют несколько

ярусов (от 1 до 6). В качестве теплоносителя используется пар или паровоздушная смесь, которая подогревается в калориферах. Камеры разделены на три зоны: зона подъема температуры, изотермического прогрева и зона охлаждения. Каждая зона отделена от другой тепловыми воздушными завесами.

Щелевые камеры несколько отличаются от туннельных. Высота камер в 4-6 раз меньше ширины. Щелевые камеры имеют системы пароснабжения и электронагреватели. Данные камеры эффективнее туннельных за счет меньших потерь тепла.

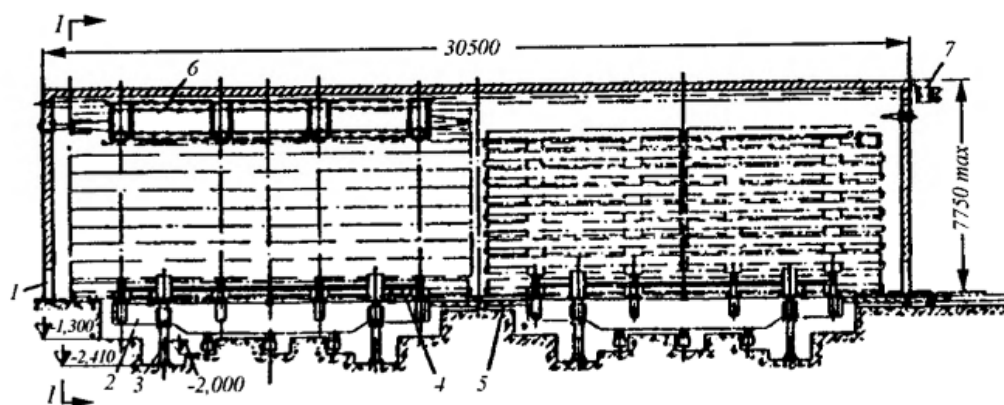
Конструкция горизонтальных щелевых камер показана на рисунке 8.



1 – вагонетка с изделием в форме; 2 – снижатель; 3 – механическая штора; 4 – рельсы; 5 – герметизирующая штора; 6 – подъемник

Рисунок 8 – Конструкция горизонтальной щелевой камеры

Конструкция вертикальных камер (рисунок 9) предусматривает использование естественного расслоения пара и воздуха по высоте. Верхняя часть камеры заполнена паром при температуре около плюс 100 °С, нижняя – паровоздушной средой, температура которой снижается до плюс (30-35) °С при опускании изделия.



- 1 – строительная коробка; 2 – рама механизма подъема;
 3 – направляющие; 4 – откидные кронштейны; 5 – привод конвейера;
 6 – верхняя передаточная тележка; 7 – привод передвижения передаточной тележки

Рисунок 9 – Конструкция вертикальной камеры

Запаривание бетона в автоклавах заключается в обработке бетонного изделия при температуре свыше плюс 100 °С. Учитывая, что протекание процесса гидратации невозможно без воды, то для избежания ее испарения или вскипания из-за высокой температуры, данный вид термообработки производят под повышенным давлением. Запаривание бетона в автоклавах приводит не только к ускорению процесса твердения, но и к появлению дополнительных кристаллических соединений, повышающих прочность бетона до (50-100) МПа. Цикл автоклавной обработки включает в себя пять стадий:

- впуск пара и постепенный нагрев до плюс 100 °С,
- повышение температуры и давления пара до максимальных значений (плюс (175-203) °С и (0,8-1,6) МПа соответственно),
- выдерживание изделий при заданных температуре и давлении,
- снижение давления до нормального и температуры до плюс 100 °С,
- остывание изделий до температуры окружающей среды.

Производство монолитных работ преимущественно в условиях воздействия низких температур не обходится без применения тепловых способов ускорения набора прочности бетона, так как при температуре окружающей среды от 0 °С до плюс 10 °С замедляется процесс гидратации цемента в растворе, что растягивает сроки набора прочности бетона.

Согласно Рекомендациям по производству бетонных работ в зимний период [26] методы термообработки разделяют на:

а) активные:

- 1) электродный прогрев,
- 2) контактный электропрогрев,
- 3) индукционный прогрев,
- 4) инфракрасный прогрев;

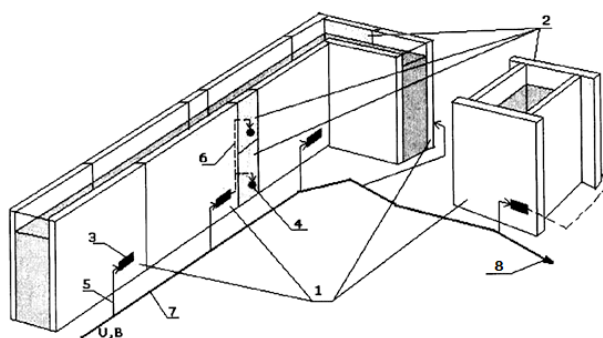
б) пассивные:

- 1) выдерживание в тепляках,
- 2) метод «термоса».

«Активные методы термообработки – это методы термообработки, при которых тепловое воздействие осуществляется в период выдерживания бетона» [26]. Активный метод основывается на способности бетонной смеси проводить электрический ток.

Электродный прогрев бетона является самым популярным методом электропрогрева бетона в зимнее время. Принцип заключается в выделении определенного количества теплоты при прохождении электрического тока через материал. Электроды располагают на поверхности и внутри бетонной смеси. После подключения к трансформатору образуется электрическое поле и происходит нагрев.

Контактный метод прогрева бетонной смеси залучается в использовании греющей опалубки (рисунок 10). Суть метода состоит в передаче тепла нагреваемой смеси от опалубки, в тело которой встроены специальные нагревательные элементы.



1 – базовые щиты греющей опалубки; 2 – доборные щиты греющей опалубки; 3 – блок управления питанием; 4 – электрический разъем доборного щита; 5 – подвод питания к базовому щиту; 6 – подвод питания к доборному щиту; 7 – электромагистраль; 8 – подвод питания к перекрытию

Рисунок 10 – Схема конструкции греющей опалубки

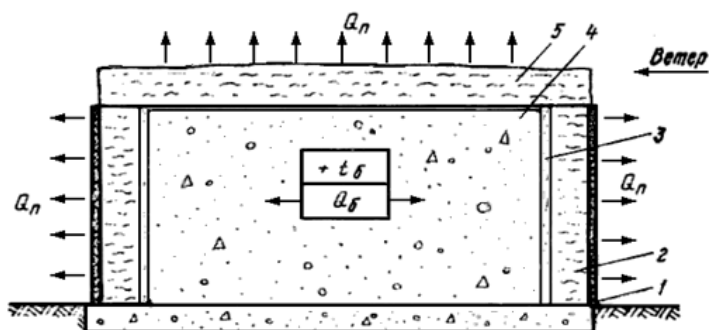
Еще одним методом электропрогрева служит индукционный прогрев, при котором выделение тепла происходит от токопроводящих элементов конструкции (арматура, металлическая опалубка). Данный способ применим для конструкций с небольшим поперечным сечением.

Инфракрасный подогрев бетонной смеси основан на действии инфракрасных лучей, которые, проходя через воздух, передают тепловую энергию облучаемой поверхности бетона. При данном способе конструкцию необходимо накрыть прозрачной пленкой, которая задержит тепло, пропуская лучи через себя.

«Пассивные методы термообработки – это методы, при которых отсутствует термообработка бетона или тепловое воздействие происходит только на этапе нагрева бетонной смеси до ее укладки в конструкцию» [26].

Метод «термоса» (рисунок 11) является наиболее простым в технологии и экономичным. Суть данного метода заключается в изотермии за счет сохранения внутреннего тепла бетона и тепла, которое выделяется при твердении бетона. Бетонный раствор сначала нагревают до максимально

допустимой температуры, а затем заливают в изолированную двойную опалубку.



1 – паро-воздухонепроницаемый слой; 2 – прослойка утеплителя; 3 – обшивка опалубки; 4 – бетон; 5 – теплоизолирующий слой на открытой грани конструкции

Рисунок 11 – Схема выдерживания бетона методом «термоса»

Еще одним способом тепловой обработки бетонной смеси является выдерживание в тепляках. Сущность метода состоит в создании временного сооружения вокруг конструкции, – тепляка – в котором поддерживается температура не ниже плюс 5 °С.

1.2.3 Химические способы

Данный способ интенсификации твердения бетона заключается в использовании различных химических добавок, вводимых в бетонную смесь. Считается [17], что химические добавки – это простой и доступный способ совершенствования свойств бетона, позволяющий снизить затраты на изготовление продукции, а также повысить качество железобетонных изделий и увеличить их срок службы.

Наиболее изучена и распространена такая добавка, как хлористый кальций (CaCl), вводимая в воду затворения в момент приготовления бетонной смеси в количестве 3 % от массы цемента для неармированных конструкций. Данная добавка помимо положительного эффекта может

отрицательно сказаться на качестве бетона. Превышения допустимой концентрации хлористого кальция приводит к быстрому схватыванию цемента и увеличению усадки цементного камня.

Для железобетонных изделий, армированных стержневой арматурой, процент добавки хлористого кальция снижается до (1,5-2) %, для армированных высокопрочной проволокой – до 0,5 % из-за большой вероятности коррозии арматуры.

Эффект от данной добавки в виде ускорения твердения бетона наблюдается в одно- двухсуточном возрасте с одновременным увеличением прочности бетона на (50-100) % по сравнению с бездобавочным бетоном. К 28 суткам твердения при нормальных условиях превышение прочности составляет (10-15) %.

В последние несколько лет широкое применение имеют комплексные добавки, содержащие в своем составе добавки-ускорители. Данный вид добавок способен сократить продолжительность процесса тепловой обработки и не вызывает коррозию арматуры.

1.3 Виды и характеристики добавок, используемых для регулирования свойств бетонов

«Добавка – органическое или неорганическое вещество, вводимое в смеси в процессе их приготовления с целью направленного регулирования их технологических свойств и/или строительно-технических свойств бетонов и растворов, и/или придания им новых свойств» [10].

Современное строительство невозможно представить без использования всевозможных химических добавок, влияющих на свойства бетона и бетонной смеси. По мнению многих авторов [3, 25, 30, 38], значительные достижения в технологии бетона обусловлены существенным ростом эффективности применяемых химических добавок.

Получение бетона с заданными характеристика, повышение стойкости к перепадам температур и морозам, улучшение водонепроницаемости, ускорение или замедление твердения – все это возможно благодаря химическим добавкам.

В настоящее время выбор добавок достаточно разнообразен. Под определенный результат, который необходимо получить по окончании работы, подбирается определенная добавка со своим механизмом воздействия и химическим составом.

В соответствии с ГОСТ [10] химические добавки для бетона классифицируют следующим образом:

- а) «добавки, регулирующие свойства бетонных и растворных смесей»:
 - 1) пластифицирующие (пластификация смесей):
 - суперпластифицирующие,
 - пластифицирующие;
 - 2) водоредуцирующие (снижение водопотребности смесей):
 - суперводоредуцирующие,
 - водоредуцирующие;
 - 3) стабилизирующие (снижение расслаиваемости смесей),
 - 4) регулирующие сохраняемость подвижности (изменение времени сохраняемости подвижности смесей),
 - 5) увеличивающие воздухо- (газо-) содержание (вовлечение воздуха, газовыделение);
- б) добавки, регулирующие свойства бетонов и растворов:
 - 1) регулирующие кинетику твердения:
 - ускорители (ускорение процесса твердения бетонов и растворов),
 - замедлители (замедление процесса твердения бетонов и растворов);
 - 2) повышающие прочность (повышение прочности бетонов и растворов в проектном возрасте),

- 3) снижающие проницаемость (снижение проницаемости бетонов и растворов),
 - 4) повышающие защитные свойства по отношению к стальной арматуре (усиление защитного действия бетонов и растворов по отношению к стальной арматуре),
 - 5) повышающие морозостойкость (повышение стойкости бетонов и растворов в условиях многократного попеременного замораживания и оттаивания),
 - 6) повышающие коррозионную стойкость (повышение коррозионной стойкости бетонов и растворов в условиях воздействия различных агрессивных сред),
 - 7) расширяющие (получение безусадочных и расширяющихся бетонов и растворов);
- в) добавки, придающие бетонам и растворам специальные свойства:
- 1) противоморозные:
 - для «холодного» бетона (обеспечение твердения бетонов и растворов при их отрицательных температурах),
 - для «теплого» бетона (обеспечение защиты смесей от замерзания на время от ее изготовления до укладки и подачи внешнего тепла);
 - 2) гидрофобизирующие (придание бетонам и растворам водоотталкивающих свойств);
- г) минеральные добавки» [10].

В настоящее время в строительстве широко используются комплексные добавки, действие которых направлено на придание бетону или бетонной смеси дополнительных свойств совместно с базовыми в зависимости от поставленной цели. Наиболее эффективен в качестве модификатора ускорения набора прочности комплекс «пластификатор + ускоритель твердения» [17]. «Роль добавок-ускорителей схватывания цемента и твердения бетона заключается, в основном, в активизации процесса

гидратации цемента, что приводит к ускоренному образованию субмикрочисталлических продуктов гидратации, обладающих высокой прочностью» [16]. «Использование пластифицирующего эффекта добавок в технологии производства железобетонных изделий и конструкций позволяет существенно облегчить формирование бетонных изделий при сохранении неизменной подвижности смеси, уменьшить время нахождения изделий в формах и повысить тем самым производительность выпуска штучных изделий, снизить энергоемкость производства» [7].

1.4 Комплексные добавки, состав и механизм воздействия на структуру бетонов

Многолетний опыт использования всевозможных химических добавок при строительстве зданий и сооружений демонстрирует перспективность и эффективность комплексных добавок перед монодобавками. Комплекс, входящий в состав полифункциональных добавок, ориентирован на ограничение отрицательного влияния монодобавок, а также усиления желаемого результата при проведении определенного вида работ. Монодобавки однофункциональны, что и несет отрицательный эффект наряду с положительным действием. Примером тому является применение пластифицирующих добавок, способных не только увеличить подвижность бетонной смеси, но и снизить прочностные характеристики бетона.

В зависимости на механизм воздействия и полученные свойства бетона и бетонной смеси комплексные добавки условно разделяют на пять групп:

- смеси поверхностно активных веществ (далее – ПАВ),
- смеси ПАВ и электролитов,
- смеси электролитов,
- добавки на основе суперпластификаторов,
- добавки полифункционального действия.

Первая группа добавок включает в себя диспергирующие, гидрофобизирующие, воздухововлекающие, газообразующие и другие вещества. Данная группа комплексов придает высокие пластифицирующие свойства бетонным смесям, изготовленным на различных по минералогическому составу цементах. Одновременно с этим данная группа добавок изменяет свойства и структуру бетонной смеси в зависимости от желаемого результата и поставленной задачи. Отрицательным фактором использования указанной группы комплексов является замедление процессов схватывания и твердения бетона.

Вторая группа комплексных добавок включает в себя пластифицирующие вещества электролиты, позволяющих регулировать подвижность бетонной смеси и ускорить процессы схватывания и твердения бетона. Придерживаясь определенных дозировок данных добавок с учетом минералогического состава цемента, их можно использовать при как в нормальных условиях, так и при тепловой обработке.

Третья группа добавок состоит из электролитов, позволяющих снизить отрицательное действие монодобавок, получив максимальный эффект и желаемый результат. Примером служит применение смеси добавок алюмината натрия и поташа, когда необходимо получить быстрое схватывание бетонной смеси и избежать снижение свойств бетона. Данный комплекс добавок позволяет сократить сроки схватывания бетонной смеси до (10-20) секунд, влияя на ее раннюю стадию структурообразования.

Четвертая группа комплексных добавок, состоящая из модификаторов на основе суперпластификаторов, наиболее эффективна и целесообразна. Данные комплексы нацелены на определенный вид работ и результат. Сочетание суперпластификатора и ускорителя твердения позволяет сократить процесс тепловой обработки бетона примерно на (20-40) %. В железобетонных конструкциях высокой морозостойкости и водонепроницаемости используются комплексы с воздухововлекающими и

гидрофобизирующими компонентами. Таким образом, под каждую цель подбирается определенное сочетание добавок.

Пятая группа комплексных добавок включает сложные многокомпонентные комплексы, применяемые для придания бетону специальных свойств. Данная группа комплексов включает битумную эмульсию и эмульсосуспенции на основе битума, лигносульфоната и воды. Данные добавки используют для повышения долговечности и непроницаемости бетонных и железобетонных конструкций.

Выводы по первой главе. Твердение бетона – это сложный физико-химический процесс, в ходе которого образуются новые соединения при взаимодействии цемента с водой. В настоящее время используются различные способы интенсификации твердения бетона. Наиболее распространенным методом интенсификации набора прочности бетона как при производстве сборных железобетонных конструкций, так и при монолитном строительстве является метод тепловой обработки. Однако с каждым годом современное строительство все больше ориентируется на использование всевозможных химических добавок в качестве инструмента повышения скорости набора прочности бетона.

2 Программа экспериментальных исследований

2.1 Разработка программы проведения испытаний

В настоящее время в строительной отрасли актуальной темой является увеличение качества производимых работ с одновременным сокращением затрат энергетических и сырьевых ресурсов. Одним из решений данной задачи стало использование химических добавок при изготовлении бетонных и железобетонных конструкции, а также при производстве монолитных работ.

В данной магистерской диссертации планируется проведение испытаний с целью сравнения характеристик опытных образцов-кубов, изготовленных из бетонных смесей с применением различных химических добавок (пластификатор, ускоритель твердения).

Программа экспериментальных исследований включает в себя сравнение эффективности применения комплекса химических добавок, включающего пластификатор и ускоритель твердения, при различных условиях твердения посредством изучения кубиковой прочности.

Программа экспериментальных исследований предусматривает:

- испытания на сжатие стандартных образцов-кубов, твердевших в нормальных условиях, с приложенной кратковременной нагрузкой для определения прочности бетона, включающего в состав монодобавку (пластификатор) и комплекс добавок (пластификатор + ускоритель твердения),
- испытания на сжатие стандартных образцов-кубов, твердевших в условиях тепловой обработки, с приложенной кратковременной нагрузкой для определения прочности бетона, включающего в состав комплекс добавок (пластификатор + ускоритель твердения).

Программа экспериментальных исследований и определение количества исследуемых образцов основывается на лабораторных испытаниях в соответствии с ГОСТ [8, 14].

2.2 Свойства и характеристики применяемых материалов

2.2.1 Вяжущее вещество

Вяжущим веществом в экспериментальных исследованиях являлся портландцемент ЦЕМ I 42,5Н от компании ООО «Азия Цемент», отвечающий требованиям ГОСТ [14]. Показатели качества цемента отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели качества цемента ЦЕМ I 42,5Н

Показатели	Единица измерения	Фактическое значение
Физико-механические характеристики		
Класс прочности цемента	–	42,5
Группа по эффективности при пропаривании	–	I
Предел прочности при сжатии после ТВО	МПа	35,5±2,0
Прочность при сжатии в возрасте 2 суток	МПа	20,37±1,5
Прочность при сжатии в возрасте 28 суток	МПа	49,01±1,5
Сроки схватывания, начало	мин.	160±15
Минералогический состав клинкера		
Трехкальциевый силикат (C ₃ S)	%	67,3±2,0
Двухкальциевый силикат (C ₂ S)	%	11,9±2,0
Четырехкальциевый алюмоферрит + трехкальциевый алюминат (C ₄ AF + C ₃ A)	%	18,6±0,3
Трехкальциевый алюминат (C ₃ A)	%	6,7±0,3

Данный цемент применяется в подходе для всех типов бетонных работ. В своем составе содержит до 5 % минеральных добавок, что увеличивает реологические свойства бетонной смеси, а также повышает связность и однородность бетонной смеси, упрочняя структуру бетона. Это способствует увеличению долговечности произведенных конструкций и изделий.

2.2.2 Мелкий заполнитель

При изготовлении бетонной смеси в качестве мелкого заполнителя был использован речной песок Волжского месторождения. Гранулометрический состав мелкого заполнителя отражен в таблице 2.

Таблица 2 – Гранулометрический состав мелкого заполнителя

№ сита, мм	Частный остаток, %	Полный остаток, %
	Волжский песок	
2,5	0,41	0,41
1,25	0,4	0,81
0,63	1,19	2,0
0,315	30,1	32,1
0,16	65,8	97,9
< 0,16	2,1	100,0
$M_{кр}$	1,33	

Модуль крупности Волжского песка составляет $M_{кр} = 1,33$ и относится к группе песков очень мелкой крупности согласно таблице 1 ГОСТ [11].

2.2.3 Крупный заполнитель

В качестве крупного заполнителя использовался Жигулевский щебень фракции 5-20 по ГОСТ [15], имеющий марку по прочности М600. Характеристики щебня приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики крупного заполнителя

Показатели	Значение
Марка по дробимости	М600
Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы	14 %
Марка по истираемости	И-I
Насыпная плотность	1300 кг/м ³
Морозостойкость	F50

В общей массе заполнителя отсутствуют вредные примеси, комки глины и частицы слабых пород. Лещадность щебня составила 14 %, что подходит для его применения в изготавливаемом бетоне.

2.2.4 Добавки

В данной работе при проведении испытаний в качестве пластификатора применялась высокоредуцирующая добавка на основе эфиров поликарбоксилатов – MasterGlenium ACE 430 (рисунок 12).



Рисунок 12 – Пластификатор MasterGlenium ACE 430

Согласно техническому описанию [35], добавка MasterGlenium ACE 430 используется при производстве железобетонных изделий различных видов, а также для изготовления бетонных смесей любой подвижности.

Характеристики пластификатора приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики MasterGlenium ACE 430

Характеристики	Описание
1	2
Основа	Эфир поликарбоксилатов
Внешний вид	Однородная жидкость от белого до желтого цвета

Продолжение таблицы 4

1	2
Плотность	(1040-1080) кг/м ³ (при плюс 20 °С)
Показатель рН	6±2
Содержание Cl-иона, в масс. % не более	0,1
Дозировка	(0,2-2,0) % от массы цемента

Особенность данной добавки заключается:

- в сокращении продолжительности и температуры тепловой обработки,
- эффективности работы со всеми цементами,
- сокращении времени виброобработки бетонной смеси.

Также в данной магистерской работе в качестве ускорителя твердения использовалась добавка Master X-Seed 100 (рисунок 13).



Рисунок 13 – Ускоритель твердения Master X-Seed 100

Master X-Seed 100 – это суспензия активных наночастиц, способная ускорить гидратацию цемента на ранних сроках. Характеристики используемого ускорителя твердения приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики Master X-Seed 100

Характеристики	Описание
Внешний вид	Суспензия белого цвета
Плотность	(1,135±0,02) г/см ³ (при плюс 20 °С)
Показатель рН	11
Содержание Cl-иона, в масс. % не более	0,1
Дозировка	(1,0-4,0) % от массы цемента

Особенность данной добавки заключается:

- в сокращении продолжительности и температуры тепловой обработки,
- эффективности работы со всеми цементами,
- возможности использования цементов более низких марок,
- возможности применения в качестве противоморозной добавки.

Согласно техническому описанию [36], благодаря уникальной инновационной технологии ускорения кристаллизации данная добавка способна значительно ускорить рост кристаллов гидросиликатов кальция.

2.3 Методы экспериментальных исследований

Программа экспериментальных исследований включает в себя двухэтапное испытание стандартных образцов-кубов. Первый этап заключается в экспериментальном подборе концентрации компонентов, входящих в состав применяемого в бетонной смеси химического комплекса. Второй этап состоит в определении прочности образцов на сжатие, находившихся в условиях тепловой обработки.

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены партии образцов-кубов из бетона класса В15 в соответствии с указаниями ГОСТ [11] с жесткостью бетонной смеси (11-20) секунд для производства многопустотных плит перекрытия с размерами 4,2×3,0 м серии 1.090.1-1/88 «Тольяттинская». Проектирование состава бетонной смеси производилось в

соответствии с методическими указаниями [2, 9, 28, 32]. Расчётный состав бетона на 1 м³ для класса В15 представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Расчётный состав бетона на 1 м³

Сырьевые материалы	Расход на 1 м ³ бетона
В/Ц	0,61
Вода, л	160
Цемент, кг/м ³	260
Щебень фр. 5-20 М600, кг/м ³	1160
Песок кварц. М _{кр} = 1,3, кг/м ³	775

Образцы изготавливались в калиброванных металлических формах ЗФК-100,0 (100,0×100,0×100,0 мм), соответствующих [13] (рисунок 14).



Рисунок 14 – Металлические формы ЗФК-100,0

Перед укладкой бетонной смеси в формы проверяется ее жесткость в соответствии с ГОСТ [12]. «При малых расходах воды бетонные смеси не показывают осадки конуса, однако при приложении внешнего силового воздействия такие смеси (в зависимости от расхода воды и состава бетона) обладают различными формовочными свойствами» [2]. Данные смеси являются жесткими, для оценки свойств которых используется вискозиметр, описанный ранее, с помощью которого определяется растекаемость бетонной смеси при вибрировании. «Жесткость бетонной смеси характеризуют

временем вибрации в секундах, необходимым для выравнивания бетонной смеси и появления цементного теста в отверстиях прибора» [12].

Далее приготовленную бетонную смесь укладывают в металлические формы, предварительно очищенные специальными щетками и покрытые тонким слоем смазки, и уплотняют на виброплощадке.

Образцы, предназначенные для твердения в нормальных условиях, до распалубки покрываются влажной тканью с целью исключения испарения влаги. После распалубки образцы помещаются в камеру нормального твердения с температурой плюс (20 ± 2) °С и относительной влажностью воздуха (95 ± 5) %.

Образцы, предназначенные для твердения в условия тепловой обработки, в формах помещаются в тепловой агрегат по принятому режиму. По окончании тепловой обработки образцы достают, распалубливают и испытывают.

Испытания образцов на сжатие проводились в специальной испытательной машине – гидравлическом прессе МС-500 (рисунок 15).

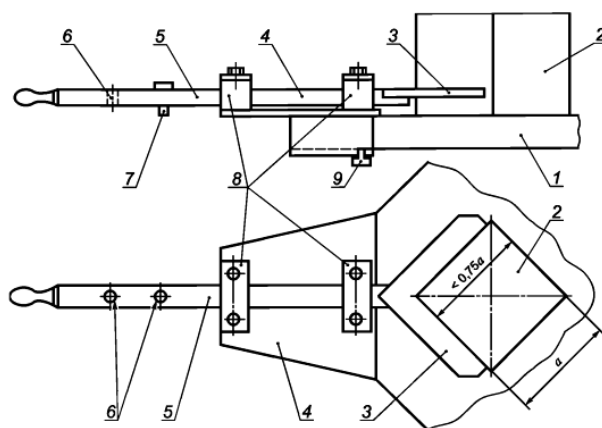


Рисунок 15 – Гидравлический пресс МС-500

В соответствии с техническим описанием [24] пресс имеет силоизмеритель торсионного электрогидравлического однодиапазонного типа. Нагрузка, создаваемая на испытываемый образец, отображается на аналоговом циферблате. Нагружающий модуль прессы имеет две винтовые вертикальные колонны, с помощью которых вручную перемещается траверса.

Перед началом испытаний опорные плиты испытательной машины должны быть зачищены от мусора и частиц оставшегося бетона от прошлых испытаний.

Экспериментальный образец устанавливается выбранной гранью на нижнюю плиту прессы. С помощью специального центрирующего приспособления (рисунок 16) или отметок, нанесенных на плиту испытательной машины, образец должен быть расположен центрально по отношению к продольной оси прессы.



1 – плита прессы; 2 – образец; 3 – угольник; 4 – основание приспособления; 5 – шток; 6 – гнезда ограничителя; 7 – ограничитель; 8 – направляющие; 9 – болты крепления

Рисунок 16 – Приспособления для центрирования образцов

После того установки образца на опорную плиту прессы верхняя плита совмещается с верхней гранью образца таким образом, чтобы их плоскости плотно прилегали друг к другу. Далее образец нагружают при постоянной скорости нарастания нагрузки ($0,6 \pm 0,2$) МПа/с до его разрушения, учитывая, что время нагружения должно быть не меньше 30 секунд. За разрушающую нагрузку принимается максимальное усилие, которое было достигнуто в процессе испытания.

По окончании испытания вид разрушения образца оценивается. Образец, разрушившийся по неудовлетворительной схеме разрушения (рисунок 18), не учитывается.

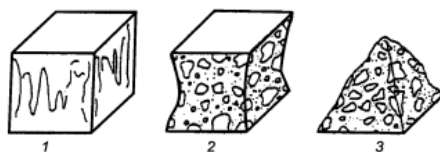


Рисунок 17 – Удовлетворительные разрушения образцов-кубов

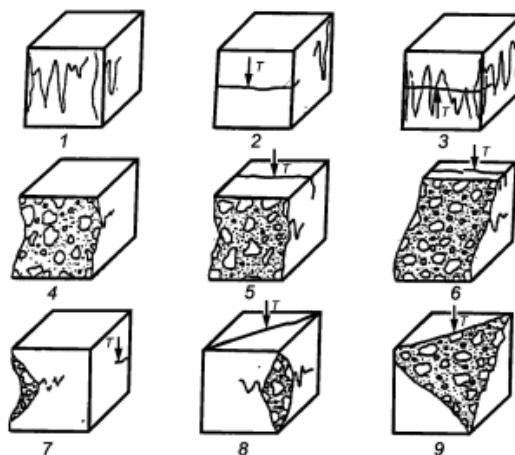


Рисунок 18 – Неудовлетворительные разрушения образцов-кубов

Результаты испытаний заносятся в специальный журнал испытаний с пометками о зафиксированных дефектах.

Перед началом проведения испытаний необходимо надеть защитные очки и спецодежду, исключаящую наличие развевающихся концов и свисающих деталей. Также на одежде должны быть застегнуты рукава. Все средства индивидуальной защиты необходимо проверить на отсутствие повреждений и загрязнений.

Рабочее место перед проведением испытаний необходимо осмотреть и подготовить, убрав лишние предметы, а также освободить проходы. Помещение должно быть достаточно освещенным для проведения работ, полы – отвечать всем санитарно-гигиеническим требованиям и не скользить.

Испытательная установка должна быть надежно закреплена к полу и проверена на исправность.

При выполнении работ необходимо не допускать нахождения рядом с испытательной машиной посторонних лиц.

Испытываемые образцы должны быть установлены без перекосов и смещений. Запрещается удерживать руками образцы и располагать руки вблизи рабочей зоны.

По окончании работ рабочее место должно быть приведено в порядок, а испытательная установка очищена от загрязнений.

«Прочность бетона на сжатие вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле:

$$R_n = \alpha \frac{F}{A}, \text{ МПа}, \quad (3)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н;

A – площадь рабочего сечения образца, мм²;

α – масштабный коэффициент для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базового размера» [8].

В серии образцов прочность бетона необходимо определять как среднеарифметическое значение прочности экспериментальных образцов в серии:

- из двух образцов – по двум образцам,
- из трех образцов – по двум образцам с наибольшей прочностью,
- из четырех образцов – по трем образцам с наибольшей прочностью,
- из шести образцов – по четырем образцам с наибольшей прочностью.

Если происходит отбраковка дефектных образцов, то прочность определяется по оставшимся образцам при условии, что их количество не меньше двух.

2.4 Изготовление партии контрольных образцов-кубов

Перед проведением основной части экспериментальных исследований 24.06.2022 в заводских условиях была изготовлена партия контрольных образцов-кубов в количестве 3 штук с размерами ребер 100,0×100,0×100,0 мм из расчетного состава бетонной смеси с целью уточнения класса используемого бетона.

Образцы выдерживались в нормальных условиях (температура плюс (20 ± 2) °С, относительная влажность воздуха (95 ± 5) %) и испытывались в возрасте 28 суток (рисунок 19). Испытания проводились в соответствии с ГОСТ [8].



Рисунок 19 – Контрольные образцы-кубы

Перед началом испытаний образцы осматривались на наличие дефектов – трещин, сколов ребер, раковин и инородных включений. Указанные дефекты обнаружены не были. Затем был произведен линейный замер образцов. Отклонений поверхностей кубов выявлено не было.

Перед проведением испытаний рабочее место было тщательно осмотрено и подготовлено, пресс надежно закреплен к полу и не имеет трещин и повреждений.

После проведения подготовительных работ экспериментальные образцы-кубы испытывались на прочность.

По окончании испытаний каждый разрушенный образец подвергался визуальному осмотру. При визуальном осмотре испытанных кубов не было обнаружено каких-либо дефектов структур. Кубы разрушены по удовлетворительной схеме (рисунок 20).



Рисунок 20 – Разрушенные контрольные образцы-кубы

Прочность бетона на сжатие первого испытанного образца партии определяется с точностью до 0,1 МПа по формуле (3):

$$R_n = 0,95 \frac{211,8 \times 1000}{0,01} = 20,1 \text{ МПа,}$$

где (211,8×1000) – разрушающая нагрузка, Н;

0,01 – площадь рабочего сечения образца, мм²;

0,95 – масштабный коэффициент для кубов с ребром 100 мм.

Значения прочностей остальных экспериментальных образцов рассчитывались аналогично. Полученные результаты занесены в журнал испытаний (таблица 7).

Таблица 7 – Журнал испытаний при определении прочности контрольных кубов на сжатие

Дата изготовления контрольного образца	Маркировка серии образца	Предполагаемый класс бетона по прочности, МПа	Дата испытания контрольных образцов	Характеристика образца			Результаты испытания			Примечание
				масса, г	размеры, см	средняя плотность, кг/м	разрушающая нагрузка, кН	прочность образца, приведенная к базовому размеру, МПа	средняя прочность образца в серии, МПа	
24.06.2022	$R_{\text{контр}}^{28}$	В15	22.07.2022 (28 сут.)	-	10×10×10	-	21 600 кгс = 211,8 кН	20,1	22,4	Прочность бетона в серии рассчитывается как среднеарифметическое значение прочности двух образцов с наибольшей прочностью
				-		-	25 200 кгс = 247,1 кН	23,5		
				-		-	22 800 кгс = 223,6 кН	21,2		

По результатам испытания образцов-кубов значение средней прочности бетона равно $R = 22,4$ МПа, что соответствует классу В15.

Выводы по второй главе. По результатам данной главы была разработана программа планируемых экспериментальных исследований, которая включает в себя двухэтапное испытание стандартных образцов-кубов с целью определения эффективности применения комплекса химических добавок, включающего пластификатор и ускоритель твердения, при различных условиях твердения посредством изучения кубиковой прочности.

Первый этап является подготовительным, поводящим к основному второму этапу испытаний. Первый этап заключается в экспериментальном подборе концентрации компонентов, входящих в состав применяемого в бетонной смеси химического комплекса. Второй этап базируется на результатах первого и состоит в определении прочности образцов на сжатие, находившихся в условиях тепловой обработки.

3 Оценка влияния химических добавок на прочность бетона, твердевшего в различных условиях

3.1 Применение бетонов ускоренного твердения. Техническое описание конструкции

В данной магистерской диссертации рассматривается применение бетонов ускоренного твердения с использованием химических добавок на примере производства многопустотных плит перекрытия с размерами 4,2×3,0 м серии 1.090.1-1/88 «Тольяттинская» (рисунок 21).

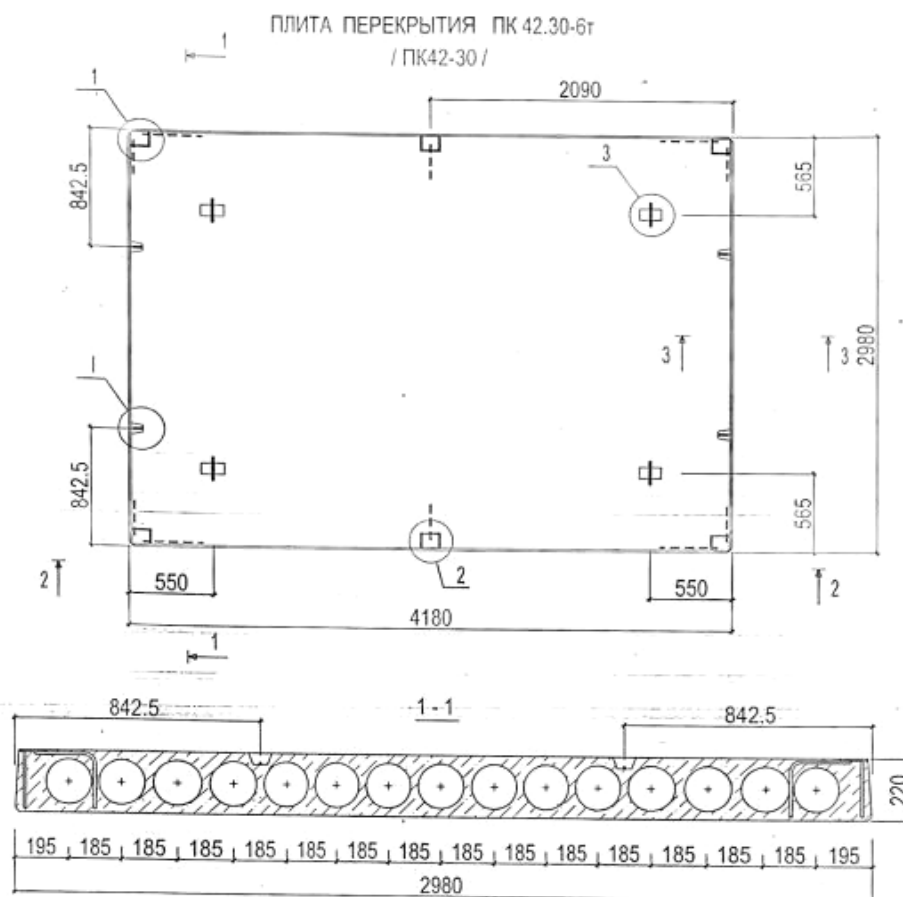


Рисунок 21 – Многопустотная плита перекрытия ПК 42.30-6т серии 1.090.1-1/88 «Тольяттинская»

Данные плиты перекрытия длиной 4180 мм и шириной 2980 мм были разработаны ФГУП «КБ им. А.А. Якушева» (г. Москва) в 2005 году для применения при проектировании и строительстве многоэтажных жилых домов, общественных и промышленных зданий.

Предпосылками к разработке данных плит перекрытия являлись:

- эффективное применение «широких» плит с целью уменьшения количества подъемов крана при монтаже зданий,
- уменьшение стыков плит, приходящихся на потолочную поверхность жилых комнат,
- целесообразность размещения штабелей плит на площадках складирования с уменьшением проходов между штабелями.

Плиты данной серии выпускаются без предварительного напряжения, благодаря чему технология производства пустотных плит позволяет рассматривать возможность их изготовления без использования тепловой обработки, то есть на естественном твердении.

3.2 Экспериментальное определение концентрации комплексной добавки (первый этап)

Принято считать [17, 29], что подбор химической добавки является ключевым моментом при производстве железобетонных изделий. Наиболее эффективный комплекс включает в состав пластифицирующую добавку и ускоритель твердения. Для определения оптимальной дозировки добавок, входящих в применяемый для бетонной смеси комплекс, экспериментальным путем было проведено предварительное исследование влияния концентрации пластификатора и ускорителя твердения на прочность бетона.

25.07.2022 в заводских условиях были изготовлены образцы-кубы в количестве 18 штук с размерами 100,0×100,0×100,0 мм класса В15. Образцы были разделены на две партии: партия 1 – образцы, содержащие добавку MasterGlenium ACE 430 в количестве 1,0 % от массы цемента; партия 2 –

образцы, содержащие добавку MasterGlenium ACE 430 в количестве 1,5 % от массы цемента. Обе партии образцов выдерживались в нормальных условиях (температура плюс (20 ± 2) °С, относительная влажность воздуха (95 ± 5) %) и испытывались в возрасте 12 часов, 7 суток и 28 суток.

При визуальном осмотре образцов перед испытаниями дефекты и линейные отклонения не обнаружены.

Затем кубы взвешивались на механических весах с целью определения плотности каждого образца по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ кг/м}^3, \quad (4)$$

где m – масса куба, кг;

V – объем куба, м³.

Все значения плотностей и масс образцов, а также линейные замеры были занесены в журнал испытаний.

После проведения подготовительных работ экспериментальные образцы-кубы испытывались на прочность. Испытания проводились аналогично ранее проведенным. Кубы были разрушены по удовлетворительной схеме, каких-либо дефектов структур обнаружено не было.

Значения прочностей экспериментальных образцов рассчитывались по формуле (3). Полученные результаты занесены в журнал испытаний (таблица 8).

Таблица 8 – Журнал испытаний при определении прочности кубов на сжатие №1

Дата изготовления контрольного образца	Маркировка серии образца	Класс бетона по прочности, МПа	Дата испытания контрольных образцов	Характеристика образца			Результаты испытания			Примечание
				масса, г	размеры, см	средняя плотность, кг/м	разрушающая нагрузка, кН	прочность образца, приведенная к базовому размеру, МПа	средняя прочность образца в серии, МПа	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
25.07.2022	$R_{1,0\%}^{MG}$	В15	26.07.2022 (12 ч)	2 480	10×10×10	2 480	4 510 кгс = 44,2 кН	4,2	3,9	Прочность бетона в серии рассчитывается как среднеарифметическое значение прочности двух образцов с наибольшей прочностью
				2 500		2 500	3 330 кгс = 32,6 кН	3,1		
				2 500		2 500	3 750 кгс = 36,8 кН	3,5		
	2 500			2 500		1 499 кгс = 14,7 кН	1,4	1,7		
	2 485			2 485		1 930 кгс = 18,9 кН	1,8			
	2 490			2 490		1 610 кгс = 15,8 кН	1,5			
	$R_{1,0\%}^{MG}$		01.08.2022 (7 сут.)	2 480	2 480	19 640 кгс = 192,6 кН	18,3	18,9		
				2 500	2 500	20 820 кгс = 204,2 кН	19,4			
				2 495	2 495	19 430 кгс = 190,5 кН	18,1			
	$R_{1,5\%}^{MG}$			2 500	2 500	18 470 кгс = 181,1 кН	17,2	17,3		
				2 480	2 480	18 680 кгс = 183,2 кН	17,4			
				2 490	2 490	17386 кгс = 170,5 кН	16,2			

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	$R_{1,0\%}^{MG}$		22.08.2022 (28 сут.)	2 750		2 750	33385 кгс = 327,4 кН	31,1	32,0	
				2 495		2 495	33 820 кгс = 331,6 кН	31,5		
				2 495		2 495	34 780 кгс = 341,1 кН	32,4		
	$R_{1,5\%}^{MG}$			2 500		2 500	33 060 кгс = 324,2 кН	30,8	31,5	
				2 480		2 480	32090 кгс = 314,7 кН	29,9		
				2 485		2 485	34 460 кгс = 337,9 кН	32,1		

Зависимость прочности бетонных образцов от концентрации применяемой добавки представлена на рисунке 22.

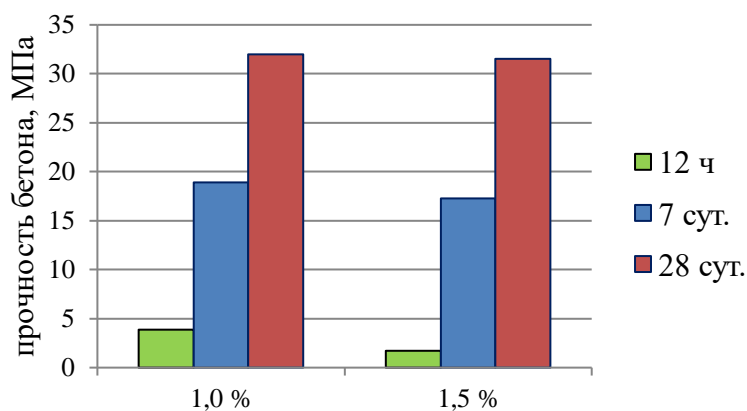


Рисунок 22 – Диаграмма зависимости прочности бетонных образцов от концентрации применяемой добавки (MasterGlenium ACE 430)

Также зависимость прочности бетонных образцов от концентрации применяемой добавки представлена на рисунке 23.

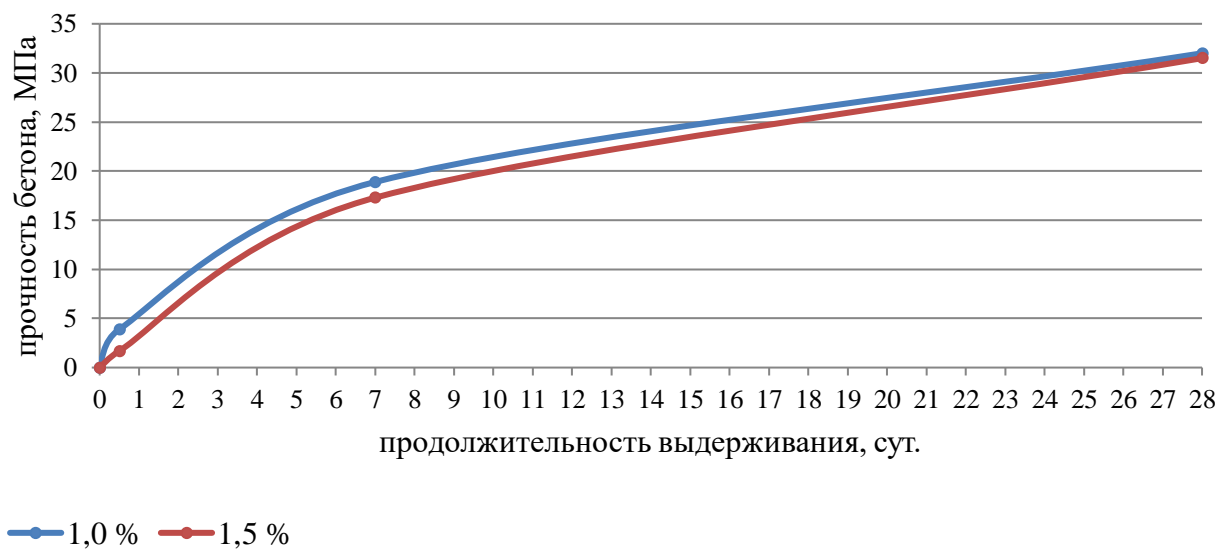


Рисунок 23 – График зависимости прочности бетонных образцов от концентрации применяемой добавки (MasterGlenium ACE 430)

Полученные результаты сведены в таблицу 9.

Таблица 9 – Результаты испытаний прочности кубов на сжатие №1

Применяемые добавки	Время	Вес кубика, г	Прочность, МПа	
Партия 1				
MasterGlenium ACE 430 – 1 %	12 ч	2 480	4,2	3,9
		2 500	3,5	
	7 сут.	2 480	18,3	18,9
		2 500	19,4	
	28 сут.	2 495	31,5	32,0
		2 495	32,4	
Партия 2				
MasterGlenium ACE 430 – 1,5 %	12 ч	2 485	1,8	1,7
		2 490	1,5	
	7 сут.	2 500	17,2	17,3
		2 480	17,4	
	28 сут.	2 500	30,8	31,5
		2 485	32,1	

По результатам испытаний было определено, что оптимальная дозировка пластификатора MasterGlenium ACE 430 для данной бетонной смеси – 1,0 %.

Далее был проведен подбор дозировки ускорителя твердения Master X-Seed 100 в комплексе с пластификатором MasterGlenium ACE 430.

02.08.2022 в заводских условиях были изготовлены три партии образцов-кубов в количестве 27 штук с размерами 100,0×100,0×100,0 мм класса В15 по девять образцов в каждой партии с содержанием добавки MasterGlenium ACE 430 в количестве 1,0 % и ускорителя твердения Master X-Seed 100 – 2,0 %, 3,0 % и 4,0 %.

Все образцы также выдерживались в нормальных условиях и испытывались в возрасте 12 часов, 3 суток и 7 суток.

При визуальном осмотре образцов перед испытаниями дефекты и линейные отклонения не обнаружены.

Испытания проводились аналогично ранее проведенным.

По окончании испытаний каждый разрушенный образец осматривался на наличие дефектов. Кубы были разрушены по удовлетворительной схеме, каких-либо дефектов структур обнаружено не было (рисунок 24).



Рисунок 24 – Часть разрушенных образцов с содержанием ускорителя твердения

Значения прочностей экспериментальных образцов рассчитывались по формуле (3). Полученные результаты занесены в журнал испытаний (таблица 10).

Таблица 10 – Журнал испытаний при определении прочности кубов на сжатие №2

Дата изготовления контрольного образца	Маркировка серии образца	Класс бетона по прочности, МПа	Дата испытания контрольных образцов	Характеристика образца			Результаты испытания			Примечание	
				масса, г	размеры, см	средняя плотность, кг/м	разрушающая нагрузка, кН	прочность образца, приведенная к базовому размеру, МПа	средняя прочность образца в серии, МПа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
23.08.2022	$R_{2,0\%}^{MX}$	В15	24.08.2022 (12 ч)	2 485	10×10×10	2 485	3 750 кгс = 36,8 кН	3,5	3,7	Прочность бетона в серии рассчитывается как среднеарифметическое значение прочности двух образцов с наибольшей прочностью	
				2 490		2 490	3 330 кгс = 32,6 кН	3,1			
				2 490		2 490	4 190 кгс = 41,1 кН	3,9			
	$R_{3,0\%}^{MX}$			2 500		2 500	7 403 кгс = 72,6 кН	6,9	7,2		
				2 495		2 495	7 830 кгс = 76,8 кН	7,3			
				2 495		2 495	7 620 кгс = 74,7 кН	7,1			
	$R_{4,0\%}^{MX}$			2 495		2 495	2 682 кгс = 26,3 кН	2,5	2,5		
				2 500		2 500	2 370 кгс = 23,2 кН	2,2			
				2 500		2 500	2 732 кгс = 26,8 кН	2,5			
	$R_{2,0\%}^{MX}$			26.08.2022 (3 сут.)	2 485		2 485	16 430 кгс = 161,1 кН	15,3		15,5
					2 485		2 485	16856 кгс = 165,3 кН	15,7		
					2 490		2 490	15 670 кгс = 153,7 кН	14,6		

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	$R_{3,0\%}^{MX}$			2 500		2 500	20 510 кгс = 201,1 кН	19,1	18,1		
				2 495		2 495	20 180 кгс = 197,9 кН	18,8			
				2 490		2 490	19854 кгс = 194,7 кН	18,5			
	$R_{4,0\%}^{MX}$			2 490		2 490	15 350 кгс = 150,5 кН	14,3	14,3		
				2 495		2 495	15245 кгс = 149,5 кН	14,2			
				2 500		2 500	14602 кгс = 143,2 кН	13,6			
	$R_{2,0\%}^{MX}$			30.08.2022 (7 сут.)		2 480	2 480	22 110 кгс = 216,8 кН	20,6		20,9
						2 485	2 485	21 900 кгс = 214,7 кН	20,4		
						2 490	2 490	22 650 кгс = 222,1 кН	21,1		
	$R_{3,0\%}^{MX}$			2 500		2 500	27 500 кгс = 269,7 кН	25,6	25,4		
				2 495		2 495	26941 кгс = 264,2 кН	25,1			
				2 490		2 490	25972 кгс = 254,7 кН	24,2			
	$R_{4,0\%}^{MX}$			2 490		2 490	22 980 кгс = 225,3 кН	21,4	21,3		
				2 490		2 490	22 440 кгс = 220,0 кН	20,9			
				2 500		2 500	22 760 кгс = 223,2 кН	21,2			

Зависимость прочности бетонных образцов от концентрации применяемой добавки представлена на рисунке 25.

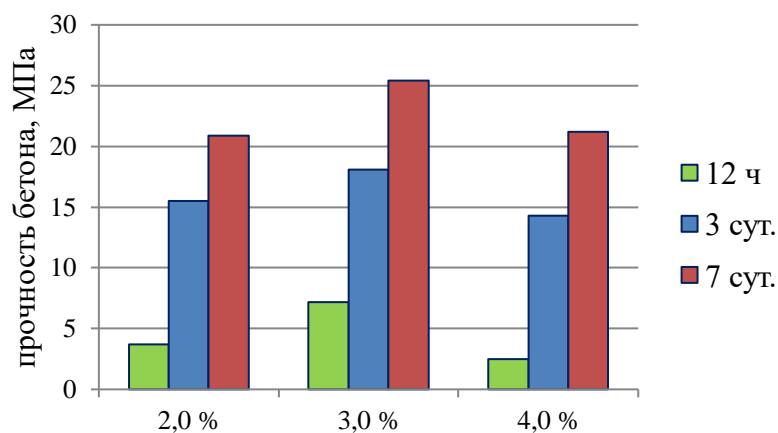


Рисунок 25 – Диаграмма зависимости прочности бетонных образцов от концентрации применяемой добавки (Master X-Seed 100)

Также зависимость прочности бетонных образцов от концентрации применяемой добавки представлена на рисунке 26.

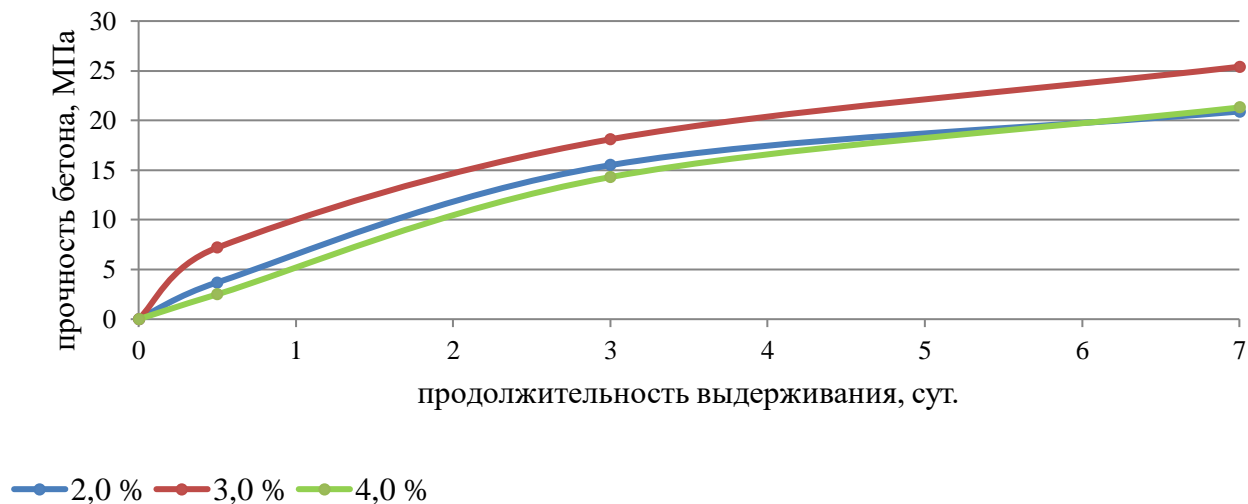


Рисунок 26 – График зависимости прочности бетонных образцов от концентрации применяемой добавки (Master X-Seed 100)

Полученные результаты сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Результаты испытаний прочности кубов на сжатие №2

Применяемые добавки	Время	Вес кубика, г	Прочность, МПа	
Партия 1				
Master X-Seed 100 – 2,0 %	12 ч	2 485	3,5	3,7
		2 490	3,9	
	3 сут.	2 485	15,3	15,5
		2 485	15,7	
	7 сут.	2 480	20,6	20,9
		2 490	21,1	
Партия 2				
Master X-Seed 100 – 3,0 %	12 ч	2 495	7,3	7,2
		2 495	7,1	
	3 сут.	2 500	19,1	18,1
		2 495	18,8	
	7 сут.	2 500	25,6	25,4
		2 495	25,1	
Партия 3				
Master X-Seed 100 – 4,0 %	12 ч	2 495	2,5	2,5
		2 500	2,5	
	3 сут.	2 490	14,3	14,3
		2 495	14,2	
	7 сут.	2 490	21,4	21,3
		2 500	21,2	

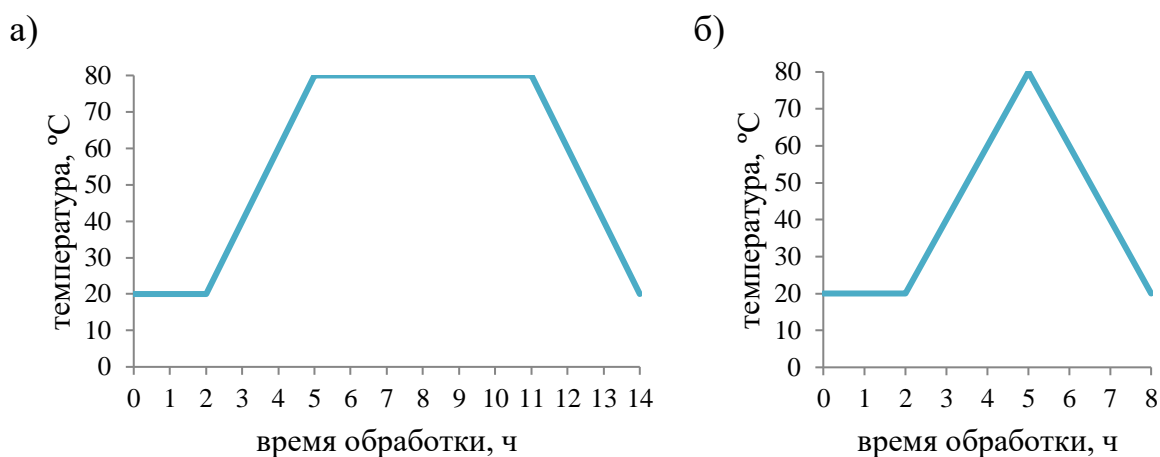
По результатам испытаний было определено, что оптимальная дозировка ускорителя твердения Master X-Seed 100 для данной бетонной смеси – 3,0 %.

Таким образом экспериментальным путем была подобрана концентрация добавок, входящих в комплекс, используемый в испытываемой бетонной смеси.

3.3 Экспериментальная проверка эффективности комплексной добавки (второй этап)

Данный этап магистерской диссертации включает в себя определение эффективности применяемой комплексной добавки в условиях тепловой

обработки в сравнении с нормальными условиями твердения, а также возможность сокращения затрат энергетических ресурсов путем изменения режима тепловой обработки бетонных изделий. Испытания проводились по двум режимам тепловой обработки – заводском (режим 1) и сокращенном (режим 2), исключая процесс изотермического прогрева (рисунок 27).



а) – режим 1 (заводской); б) – режим 2 (сокращенный)

Рисунок 27 – Режимы тепловой обработки бетонных образцов

Для определения эффективности полученной комплексной добавки в условиях тепловой обработки экспериментальным путем было проведено исследование влияния изменения режима тепловой обработки на прочность бетонных образцов.

3.3.1 Заводской режим тепловой обработки (Режим 1)

Данные испытания проводились с целью определения эффективности используемой комплексной добавки в сравнении со стандартным пластификатором, используемым на заводах ЖБИ, в условиях тепловой обработки. В качестве заводского пластификатора использовался Полипласт Премиум – «нафталин формальдегидный суперпластификатор с измененной

молекулярной структурой, имеющий дозировки, близкие к поликарбонатам» [21].

13.12.2022 в заводских условиях были изготовлены партии образцов-кубов в количестве 9 штук с размерами 100,0×100,0×100,0 мм класса В15 по 3 образца в каждой партии: с содержанием добавки Полипласт Премиум в количестве 0,9 % (рекомендуемая заводская дозировка); с содержанием добавки Полипласт Премиум в количестве 0,9 % и добавки Master X-Seed 100 в количестве 3,0 %; с содержанием добавки Master X-Seed 100 в количестве 3,0 % и добавки MasterGlenium ACE 430 в количестве 1,0 %.

Свежеотформованные образцы-кубы перед размещением в пропарочную камеру изображены на рисунке 28.

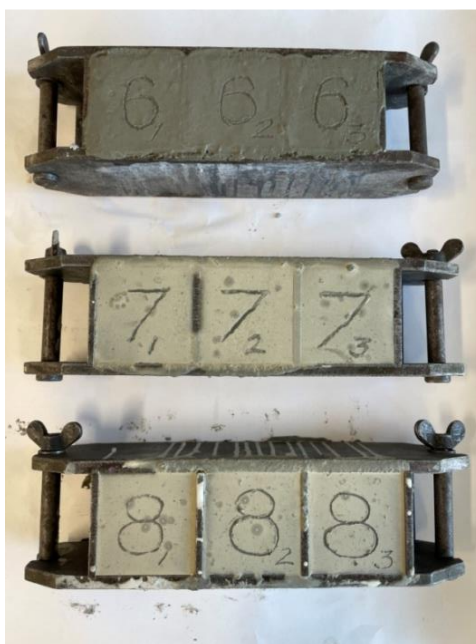


Рисунок 28 – Образцы-кубы до начала тепловой обработки

Все три партии образцов-кубов твердели в условиях тепловой обработки по классическому режиму пропаривания продолжительностью 14 часов. Данный цикл тепловой обработки предусматривает плавный подъем температуры до плюс 80 °С в течение 3 часов, а затем изотермический прогрев при этой же температуре в течение 6 часов.

По окончании тепловой обработки при визуальном осмотре образцов перед испытаниями дефекты и линейные отклонения не обнаружены.

Затем кубы взвешивались на механических весах с целью определения плотности. Все значения плотностей и масс образцов, а также линейные замеры были занесены в журнал испытаний.

После проведения подготовительных работ экспериментальные образцы-кубы испытывались на прочность (рисунок 29).

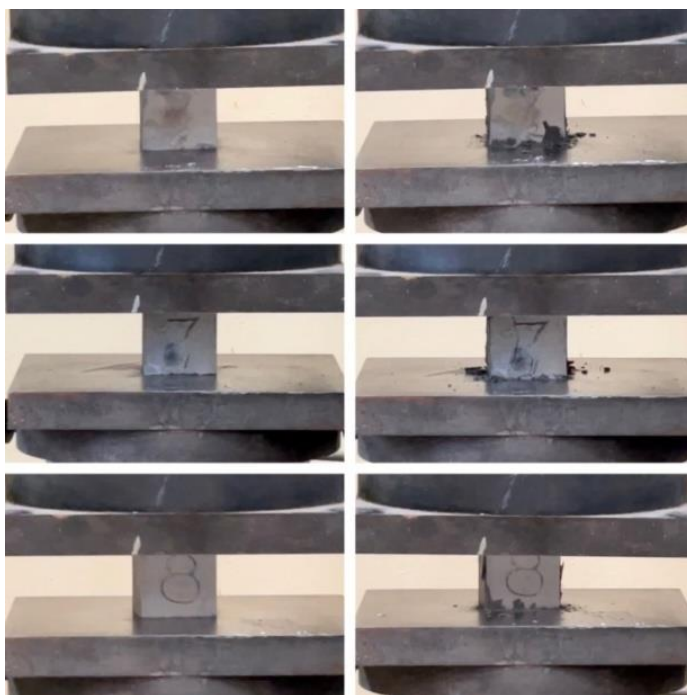


Рисунок 29 – Разрушение кубов после тепловой обработки

Испытания проводились аналогично ранее проведенным.

По окончании испытаний каждый разрушенный образец осматривался на наличие дефектов. Кубы были разрушены по удовлетворительной схеме, каких-либо дефектов структур обнаружено не было.

Значения прочностей образцов рассчитывались по формуле (3). Полученные результаты занесены в журнал испытаний (таблица 12).

Таблица 12 – Журнал испытаний при определении прочности кубов на сжатие (Режим 1)

Дата изготовления контрольного образца	Маркировка серии образца	Класс бетона по прочности, МПа	Дата испытания контрольных образцов	Характеристика образца			Результаты испытания			Примечание
				масса, г	размеры, см	средняя плотность, кг/м	разрушающая нагрузка, кН	прочность образца, приведенная к базовому размеру, МПа	средняя прочность образца в серии, МПа	
13.12.2022	$R_{ПП}^{14}$	В15	14.12.2022 (12 ч)	2 510	10×10×10	2 510	18141 кгс = 177,9 кН	16,9	17,3	Прочность бетона в серии рассчитывается как среднеарифметическое значение прочности двух образцов с наибольшей прочностью
				2 500		2 500	17927 кгс = 175,8 кН	16,7		
				2 500		2 500	18997 кгс = 186,3 кН	17,7		
	$R_{ПП+МХ}^{14}$			2 500		2 500	26084 кгс = 255,8 кН	24,4	24,4	
				2 495		2 495	25544 кгс = 250,5 кН	23,8		
				2 490		2 490	26186 кгс = 256,8 кН	24,4		
				2 485		2 485	32 100 кгс = 314,8 кН	29,9		
	$R_{МГ+МХ}^{14}$			2 495		2 495	30 810 кгс = 302,1 кН	28,7	29,3	
				2 485		2 485	30 200 кгс = 296,1 кН	28,1		
				2 485		2 485	30 200 кгс = 296,1 кН	28,1		

Результаты прочности кубов на сжатие после тепловой обработки представлены на рисунке 30.

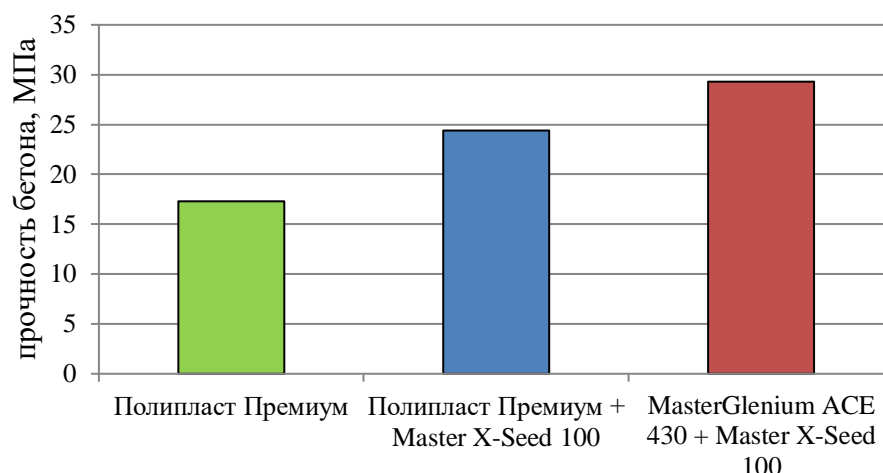


Рисунок 30 – Результаты испытаний при определении прочности кубов на сжатие после тепловой обработки (Режим 1)

Также полученные результаты сведены в таблицу 13.

Таблица 13 – Результаты испытаний прочности кубов на сжатие после тепловой обработки (Режим 1)

Применяемые добавки	Время	Вес кубика, г	Прочность, МПа	
Партия 1				
Полипласт Премиум	12 ч	2 510	16,9	17,3
		2 500	17,7	
Партия 2				
Полипласт Премиум + Master X-Seed 100	12 ч	2 500	24,4	24,4
		2 490	24,4	
Партия 3				
MasterGlenium ACE 430 + Master X-Seed 100	12 ч	2 485	29,9	29,3
		2 495	28,7	

Таким образом, все образцы, твердевшие в условиях тепловой обработки по заводскому режиму пропаривания, достигли отпускной прочности, при которой изделие разрешается отгружать с завода-производителя потребителю. Отпускная прочность равна 75 %-й марочной

прочности, то есть для бетона класса В15 данная прочность будет равна 14,4 МПа. Лучший результат показали образцы, содержащие добавку Master X-Seed 100 + MasterGlenium ACE 430, прочность которых превзошла отпускную примерно на 77 %.

3.3.2 Сокращенный режим тепловой обработки (Режим 2)

Цель данных испытаний заключается в возможности сокращения режима пропаривания с помощью применяемых химических добавок для дальнейшего увеличения выпуска изготавливаемой продукции на заводах ЖБИ.

14.12.2022 в заводских условиях были изготовлены партии образцов-кубов в количестве 9 штук с размерами 100,0×100,0×100,0 мм класса В15 аналогично партиям, изготовленным для заводского режима тепловой обработки. Образцы были разделены на три партии.

Все три партии образцов-кубов твердели в условиях тепловой обработки по сокращенному режиму пропаривания продолжительностью 8 часов. Данный режим отличен от привычного тем, что включает в себя только три этапа: предварительная выдержка изделия, подъем температуры до плюс 80 °С и плавный спад температуры. Таким образом, в рассматриваемом экспериментальном режиме отсутствует самый длительный и ключевой период – изотермический прогрев при температуре плюс 80 °С.

При визуальном осмотре образцов перед испытаниями дефекты и линейные отклонения не обнаружены. Все показатели фиксировались в журнале испытаний.

По окончании испытаний каждый разрушенный образец осматривался на наличие дефектов. Кубы были разрушены по удовлетворительной схеме, каких-либо дефектов структур обнаружено не было.

Значения показателей прочности экспериментальных образцов представлены в журнале испытаний (таблица 14).

Таблица 14 – Журнал испытаний при определении прочности кубов на сжатие (Режим 2)

Дата изготовления контрольного образца	Маркировка серии образца	Класс бетона по прочности, МПа	Дата испытания контрольных образцов	Характеристика образца			Результаты испытания			Примечание
				масса, г	размеры, см	средняя плотность, кг/м	разрушающая нагрузка, кН	прочность образца, приведенная к базовому размеру, МПа	средняя прочность образца в серии, МПа	
14.12.2022	$R_{ПП}^8$	В15	15.12.2022 (12 ч)	2 500	10×10×10	2 500	1 397 кгс = 13,7 кН	1,3	1,5	Прочность бетона в серии рассчитывается как среднеарифметическое значение прочности двух образцов с наибольшей прочностью
				2 490		2 490	1 610 кгс = 15,8 кН	1,5		
				2 505		2 505	1 620 кгс = 15,9 кН	1,5		
	$R_{ПП+МХ}^8$			2 500		2 500	18141 кгс = 177,9 кН	16,9	16,5	
				2 510		2 510	16856 кгс = 165,3 кН	15,7		
				2 510		2 510	17284 кгс = 169,5 кН	16,1		
	$R_{МГ+МХ}^8$			2 495		2 495	21 900 кгс = 214,7 кН	20,4	19,8	
				2 500		2 500	20 282 кгс = 198,9 кН	18,9		
				2 500		2 500	20 610 кгс = 202,1 кН	19,2		
				2 500		2 500	20 610 кгс = 202,1 кН	19,2		

Результаты прочности кубов на сжатие после тепловой обработки представлены на рисунке 31.

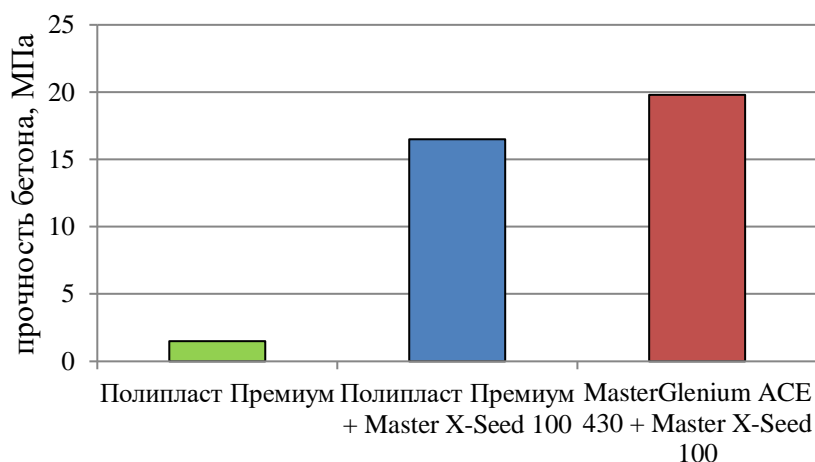


Рисунок 31 – Результаты испытаний при определении прочности кубов на сжатие после тепловой обработки (Режим 2)

Также полученные результаты сведены в таблицу 15.

Таблица 15 – Результаты испытаний прочности кубов на сжатие после тепловой обработки (Режим 2)

Применяемые добавки	Время	Вес кубика, г	Прочность, МПа	
Партия 1				
Полипласт Премиум	12 ч	2 490	1,5	15,5
		2 505	1,5	
Партия 2				
Полипласт Премиум + Master X-Seed 100	12 ч	2 500	16,9	16,5
		2 510	16,1	
Партия 3				
MasterGlenium ACE 430 + Master X-Seed 100	12 ч	2 495	20,4	19,8
		2 500	19,2	

Таким образом, партия, после сокращенного режима пропаривания партия, включающая в состав пластификатор Полипласт Премиум не достигла даже 30 %-й трехсуточной прочности. В комплексе с ускорителем твердения Master X-Seed 100 пластификатор Полипласт Премиум показал

результат, равный 16,5 МПа (85 % от марочной прочности), что говорит о возможности использования Полипласт Премиум при сокращенном режиме пропаривания. Лучший результат показали образцы с комплексной добавкой MasterGlenium ACE 430 + Master X-Seed 100, прочность которых составила 19,8 МПа.

3.3.3 Твердение в нормальных условиях

14.12.2022 в заводских условиях были изготовлены партии образцов-кубов в количестве 27 штук с размерами 100,0×100,0×100,0 мм класса В15 аналогично предыдущим партиям. Все три партии образцов-кубов выдерживались в нормальных условиях и испытывались в возрасте 3 суток, 7 суток и 28 суток (рисунок 32).



Рисунок 32 – Часть экспериментальных образцов-кубов, твердевших в нормальных условиях

Данная часть испытаний проводится с целью определения возможности изготовления железобетонной продукции без тепловой обработки с

использованием химических добавок для дальнейшего увеличения выпуска изготавливаемых изделий и конструкций на заводах ЖБИ.

Испытания образцов на прочность при сжатии проводились через 3 суток, 7 суток и 28 суток. Принято считать, что бетон за первые трое суток при естественном твердении набирает лишь 30 % марочной прочности, а полная марочная прочность достигается только на 28 сутки.

Перед началом испытаний кубы взвешивались на механических весах с целью определения плотности. Все значения плотностей и масс образцов, а также линейные замеры были занесены в журнал испытаний.

После проведения подготовительных работ экспериментальные образцы-кубы также испытывались на прочность.

По окончании испытаний каждый разрушенный образец осматривался на наличие дефектов. Кубы были разрушены по удовлетворительной схеме, каких-либо дефектов структур обнаружено не было.

Значения прочностей экспериментальных образцов представлены в журнале испытаний (таблица 16).

Таблица 16 – Журнал испытаний при определении прочности кубов на сжатие (нормальные условия твердения)

Дата изготовления контрольного образца	Маркировка серии образца	Класс бетона по прочности, МПа	Дата испытания контрольных образцов	Характеристика образца			Результаты испытания			Примечание	
				масса, г	размеры, см	средняя плотность, кг/м	разрушающая нагрузка, кН	прочность образца, приведенная к базовому размеру, МПа	средняя прочность образца в серии, МПа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
14.12.2022	$R_{ПП}^3$	В15	17.12.2022 (3 сут.)	2 520	10×10×10	2 520	7 400 кгс = 72,6 кН	6,9	7,4	Прочность бетона в серии рассчитывается как среднеарифметическое значение прочности двух образцов с наибольшей прочностью	
				2 500		2 500	7 620 кгс = 74,7 кН	7,1			
				2 500		2 500	8 160 кгс = 80,0 кН	7,6			
	$R_{ПП+MG}^3$			2 510		2 510	18 500 кгс = 181,4 кН	17,2	17,1		
				2 510		2 510	16 200 кгс = 158,9 кН	15,1			
				2 500		2 500	18 200 кгс = 178,5 кН	16,9			
	R_{MG+MX}^3			2 500		2 500	20 100 кгс = 197,1 кН	18,7	19,6		
				2 515		2 515	20 600 кгс = 202,0 кН	19,2			
				2 500		2 500	21 400 кгс = 209,8 кН	19,9			
	$R_{ПП}^3$					21.12.2022 (7 сут.)	2 520		2 500		16 320 кгс = 160,0 кН
			2 500				2 500	15 500 кгс = 152,6 кН	14,5		
			2 500				2 490	15 800 кгс = 155,8 кН	14,8		

Продолжение таблицы 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	$R_{\text{ПП+MG}}^3$			2 510		2 500	24 880 кгс = 244,2 кН	23,2	23,3		
				2 510		2 500	25 120 кгс = 246,3 кН	23,4			
				2 500		2 510	24 600 кгс = 241,0 кН	22,9			
	$R_{\text{MG+MX}}^3$			2 500		2 500	33 750 кгс = 331,6 кН	31,5	31,0		
				2 515		2 515	32 700 кгс = 321,0 кН	30,5			
				2 500		2 500	32 300 кгс = 317,9 кН	30,2			
	$R_{\text{ПП}}^{28}$			11.01.2023 (28 сут.)		2 520	2 520	22 000 кгс = 215,7 кН	20,5		22,2
						2 495	2 495	23 900 кгс = 234,4 кН	22,3		
						2 500	2 500	23 700 кгс = 232,4 кН	22,1		
	$R_{\text{ПП+MG}}^{28}$		2 500			2 500	28226 кгс = 276,8 кН	26,3	26,1		
			2 500			2 500	27797 кгс = 272,6 кН	25,9			
			2 500			2 500	27369 кгс = 268,4 кН	25,5			
	$R_{\text{MG+MX}}^{28}$		2 495			2 495	34 900 кгс = 438,3 кН	32,5	32,9		
			2 510			2 510	32 400 кгс = 434,4 кН	30,2			
			2 500			2 500	35 600 кгс = 428,5 кН	33,2			

Прочность кубов на сжатие после твердения в нормальных условиях представлена на рисунке 33.

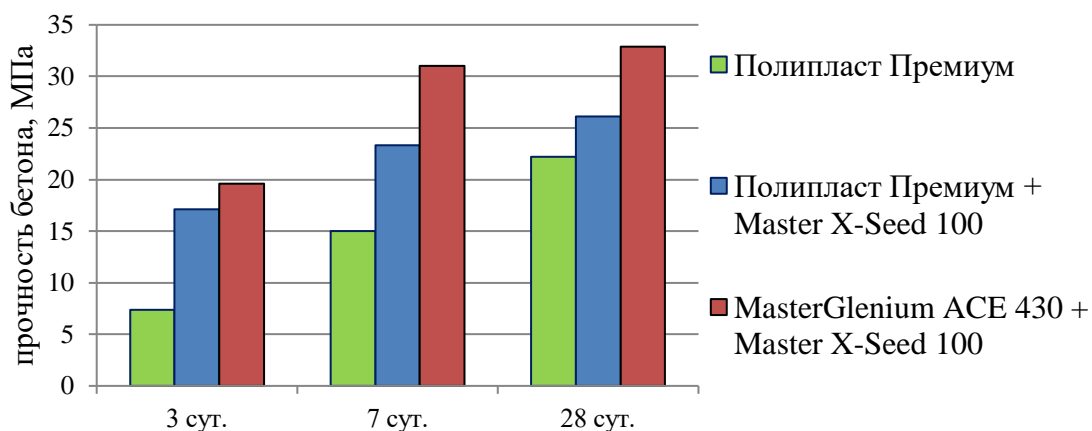


Рисунок 33 – Диаграмма прочности кубов на сжатие после твердения в нормальных условиях через 3, 7 и 28 суток

Также прочность кубов на сжатие представлена на рисунке 34.

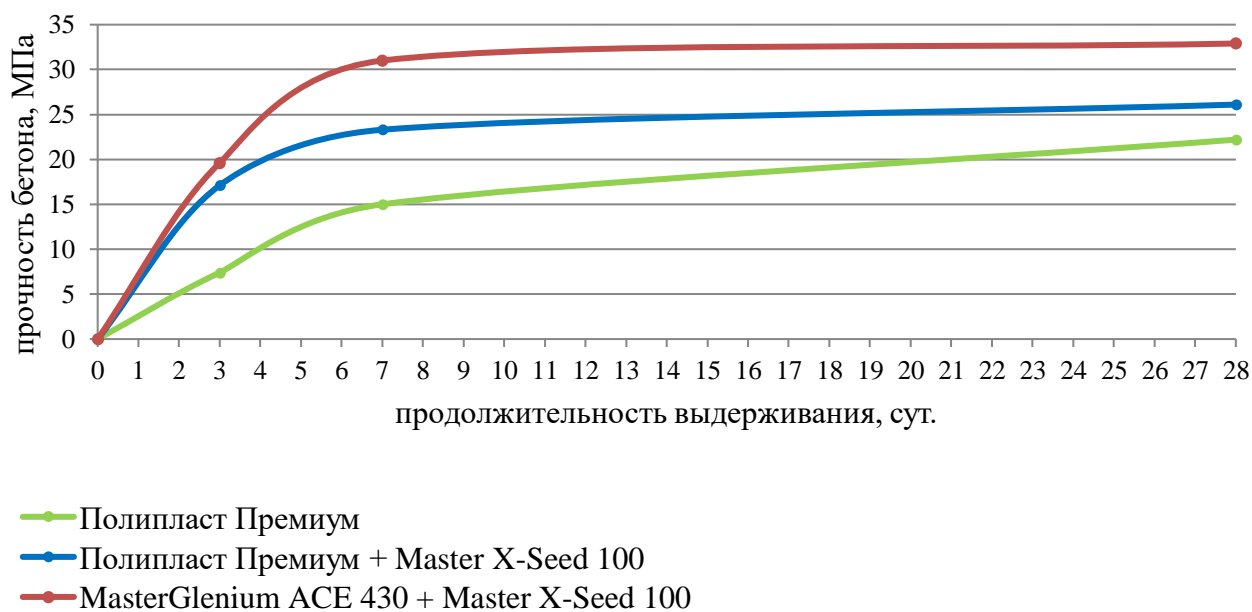


Рисунок 34 – График прочности кубов на сжатие после твердения в нормальных условиях через 3, 7 и 28 суток

Полученные результаты сведены в таблицу 17.

Таблица 17 – Результаты испытаний прочности кубов на сжатие (нормальные условия твердения)

Применяемые добавки	Время	Вес кубика, г	Прочность, МПа	
Партия 1				
Полипласт Премиум	3 сут.	2 500	7,1	7,4
		2 500	7,6	
	7 сут.	2 500	15,2	15,0
		2 490	14,8	
	28 сут.	2 495	22,3	22,2
		2 500	22,1	
Партия 2				
Полипласт Премиум + MasterX-Seed 100	3 сут.	2 510	17,2	17,1
		2 500	16,9	
	7 сут.	2 500	23,2	23,3
		2 500	23,4	
	28 сут.	2 500	26,3	26,1
		2 500	25,9	
Партия 3				
MasterGlenium ACE 430 + MasterX-Seed 100	3 сут.	2 515	19,2	19,6
		2 500	19,9	
	7 сут.	2 500	31,5	31,0
		2 515	30,5	
	28 сут.	2 495	32,5	32,9
		2 500	33,2	

Из полученных результатов, видно, что на 28 сутки образцы-кубы показали среднюю прочность, соответствующую классу бетона В15. На третьи сутки образцы, содержащие пластификатор Полипласт Премиум показали прочность, равную 7,4 МПа (30 % от марочной прочности). В комплексе с ускорителем твердения Master X-Seed 100 пластификатор Полипласт Премиум на третьи сутки твердения показал результат, равный 17,1 МПа (89 % от марочной прочности). Лучший результат показали образцы с комплексной добавкой MasterGlenium ACE 430 + Master X-Seed 100, прочность которых составила 19,6 МПа.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности изготовления железобетонной продукции без тепловой обработки с использованием рассматриваемых добавок с целью увеличения объема выпускаемых изделий.

Выводы по третьей главе. По результатам данной главы экспериментальным путем было определено влияние современных химических добавок на прочность бетона, твердевшего в различных условиях.

Основываясь на проведенных исследованиях, были получены зависимости влияния продолжительности тепловой обработки, а именно пропаривания, на прочность бетона, включающего в состав различные химические добавки. Экспериментально была доказана возможность сокращения режима тепловой обработки почти в 2 раза с использованием обычного пластификатора, широко применяемого на заводах ЖБИ, в комплексе с инновационным ускорителем твердения.

Также экспериментальным путем была доказана возможность изготовления железобетонной продукции без тепловой обработки с использованием рассматриваемых добавок с целью увеличения объема выпускаемых изделий.

4 Анализ экономической эффективности производства железобетонной продукции

«Реализация объекта в короткие сроки с минимальными энергетическими и материальными затратами – основная цель современной строительной отрасли. Одним из способов достижения данной цели является применение сборного железобетона. Ежедневно в мире производится примерно 2 млрд. м³ железобетонных конструкций. Согласно статистике, производство сборного железобетона в стране за год в настоящее время составляет около 23 млн. м³. Производители железобетонных изделий имеются во всех субъектах Российской Федерации. Несмотря на быстрое развитие монолитного строительства, спрос на сборные изделия и конструкции все так же велик» [31].

Основным преимуществом применения сборного железобетона является – высокие темпы возведения зданий. Благодаря сборному железобетону возможно возводить объекты любой степени сложности по типовым или индивидуальным проектам.

Однако производство самих железобетонных изделий и конструкций – достаточно трудоемкий и сложный процесс. Изделия изготавливают на заводах, полигонах и специальных предприятиях. Заводское изготовление железобетонных изделий и конструкций состоит из нескольких процессов [9], ключевым из которых является тепловая обработка бетона.

Несмотря на то, что тепловая обработка бетона ускоряет набор прочности изделия в раннем возрасте в результате увеличения скорости гидратации цемента благодаря повышению температуры среды [33-34, 37, 39-40], данный способ ускорения набора прочности бетона в заводских условиях требует достаточно больших капиталовложений из-за высоких энерго- и ресурсозатрат.

Под энергозатратами понимается расход тепловой энергии при производстве бетона и железобетона. «На стадии тепловлажностной

обработки бетонных и железобетонных изделий формируются основные свойства бетона (например: структура, прочность, морозостойкость, водонепроницаемость), определяющие в конечном итоге долговечность материала. Чтобы ускорить процессы структурообразования бетона, его необходимо нагреть до определенной температуры, обеспечивающей получение заданных свойств материала в требуемый промежуток времени. Следовательно, необходимо затратить энергию, что делает стадию тепловлажностной обработки одним из самых энергоемких переделов в процессе производства сборного железобетона» [5].

Под ресурсозатратами понимается необходимое количество используемого оборудования для процесса тепловой обработки (пропарочные камеры, металлооснастка) и рабочего ресурса (штат сотрудников, рабочий резерв).

В рамках данной работы рассматривается эффективность беспропарочного производства железобетонной продукции, а также сокращенного режима тепловой обработки с экономической точки зрения. Проводится анализ экономической выгоды на основании результатов, полученных в ходе проведенных испытаний. Как отмечается многими авторами [2, 19-20] центральной частью планирования позитивной деятельности предприятия является анализ финансово-экономических аспектов его производственной стороны.

Показатели предлагаемых методов производства железобетонных изделий рассматривались в сравнении с показателями одного из заводов Самарской области по производству изделий для панельного домостроения – АО «ТзЖБИ им. В.К. Макарова». Основная продукция завода – комплекты сборных железобетонных изделий для строительства жилых домов серии 1.090.1-1/88 «Тольяттинская», этажностью до шестнадцати этажей включительно, железобетонные конструкции для детских садов и школ. В данной магистерской работе рассматривалась линия по производству пустотных плит перекрытия.

На основании полученных ранее составов бетона В15 была рассчитана его стоимость с применением рассматриваемых химических добавок. Стоимость 1 м³ бетона В15 для разных составов приведена в таблице 18.

Таблица 18 – Стоимость бетона с различными добавками

Наименование материала	Расход на 1 м ³ материала	Стоимость ед. изм. материала, руб.	Стоимость в руб. на 1 м ³ материала
Состав 1			
Вода, м ³	0,160	6,13	0,98
Цемент, т	0,260	5 857,00	1 522,82
Щебень фр. 5-20 М600, т	1,160	916,67	1 063,34
Песок кварц. М _{кр} = 1,3, т	0,775	375,00	290,63
Полипласт Премиум, кг	2,340	38,08	89,11
Итого			2 966,88
Состав 2			
Вода, м ³	0,160	6,13	0,98
Цемент, т	0,260	5 857,00	1 522,82
Щебень фр. 5-20 М600, т	1,160	916,67	1 063,34
Песок кварц. М _{кр} = 1,3, т	0,775	375,00	290,63
Полипласт Премиум, кг	2,340	38,08	89,11
Master X-Seed 100, кг	7,800	26,00	202,80
Итого			3 169,68
Состав 3			
Вода, м ³	0,160	6,13	0,98
Цемент, т	0,260	5 857,00	1 522,82
Щебень фр. 5-20 М600, т	1,160	916,67	1 063,34
Песок кварц. М _{кр} = 1,3, т	0,775	375,00	290,63
MasterGlenium ACE 430, кг	2,600	17,63	45,83
Master X-Seed 100, кг	7,800	26,00	202,80
Итого			3 126,39

Учитывая вышесказанное, далее проанализируем экономическую эффективность применения данных составов в условиях заводского производства.

4.1 Эффективность беспропарочного производства железобетонной продукции

Рассмотрим эффективность применения беспропарочного метода изготовления железобетонных изделий. Суть данного метода заключается в повышении выпуска производимой продукции без увеличения ресурсо- и энергозатрат с помощью применения современных химических добавок-ускорителей. Основные характеристики беспропарочного метода производства представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Общая характеристики беспропарочного метода

Показатель	Ед. изм.	Базовый	Проектный
Мощность по выпуску	шт./смена	7	10
в т.ч.			
тепловая обработка		7	7
естественное твердение		-	3
Объем производства	шт./год	1 729	2 470
в т.ч.			
тепловая обработка		1 729	1 729
естественное твердение		-	741
Длительность работы в течение года	день	247	247
Длительность смены	ч	8	8
Количество смен в сутки		1	1
Фонд времени работы цеха в год	ч	3 952	3 952
Годовой фонд времени одного работника	ч	1 976	1 976
Количество работников по технологической линии	чел.	10	10
Количество работников в смену	чел.	10	10
Производительность труда год	шт./чел.	173	247

На основании данных таблицы 19 видно, что при базовом изготовлении железобетонной продукции в смену изготавливается 7 штук изделий, подверженных тепловой обработке, а в год – 1 729 штук. При беспропарочном методе планируется изготавливать в смену 10 штук изделий, из которых 7 штук – с применением тепловой обработки, 3 штуки – на естественном твердении. Таким образом, в год планируется изготавливать

2 470 штук пустотных плит. Из чего следует, что объем производства выпускаемых изделий увеличится почти в 1,5 раза без увеличений численности рабочих и ввода второй смены.

Учитывая вышеизложенное, с помощью программы Microsoft Excel была произведена калькуляция отпускной цены изготавливаемых пустотных плит перекрытия, производимых на действующей технологической линии (базовая) и на новой с применением беспропарочного метода производства.

В результате произведенных расчетов была получена отпускная цена 1 штуки пустотной плиты перекрытия данного типоразмера для действующей технологической линии (базовая) и для новой с применением беспропарочного метода производства с использованием рассматриваемых комплексных химических добавок, включающих пластификатор и ускоритель твердения. Результаты расчета показаны в таблице 20.

Таблица 20 – Калькуляция отпускной цены производимой продукции

Изделие: плиты пустотные			Базовое		Проектное					
					Полипласт Премиум + Master X-Seed 100		MasterGlenium ACE 430 + Master X-Seed 100			
Объем изделия, м ³ (геометрич)			4 180×2 980×220		4 180×2 980×220		4 180×2 980×220			
Объем бетона в 1 изделии, м ³			2,740		2,740		2,740			
			1,565		1,565		1,565			
Наименование статей затрат	Ед. изм.	Цена за ед.	Норма на 1 м ³	Сумма руб. коп.	Норма на 1 м ³	Сумма руб. коп.		Норма на 1 м ³	Сумма руб. коп.	
						Естественное твердение	Тепловая обработка		Естественное твердение	Тепловая обработка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Состав 1	м ³	2 966,88	0,571	1 694,58						
Состав 2	м ³	3 169,68			0,571	1 810,42	1 810,42			
Состав 3	м ³	3 126,39						0,571	1 1785,69	1 1785,69
Арматурная сталь и прокат	кг	52,71	30,161	1 589,88	30,161	1 589,88	1 589,88	30,161	1 589,88	1 589,88
в т.ч. закладные детали	кг		3,496		3,496			3,496		
Проволока вязальная	кг	56,83	0,259	14,73	0,259	14,73	14,73	0,259	14,73	14,73
Электроды	кг	151,67	0,151	22,87	0,151	22,87	22,87	0,151	22,87	22,87
Грунтовка	кг	152,50	0,038	5,74	0,038	5,74	5,74	0,038	5,74	5,74
Смазка Эколекс-4	кг	113,33	1,800	203,99	1,800	203,99	203,99	1,800	203,99	203,99
Итого материалов				3 531,82		3 647,63	3 647,63		3 622,91	3 622,91
Электроэнергия	кВт/ч	6,38	45,00	287,10	45,00	287,10	287,10	45,00	287,10	287,10
Теплоэнергия	Гкал	1 501,50	0,150	225,23	0,150		225,23	0,150		225,23
Зарплата основная производственных рабочих				718,18		718,18	718,18		718,18	718,18

Продолжение таблицы 20

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Зарплата дополнительная производственных рабочих	%	23,00		165,18		165,18	165,18		165,18	165,18
Страховые взносы	%	23,50		207,59		207,59	207,59		207,59	207,59
Общепроизводственные расходы	%	257,00		1 845,73		1 845,73	1 845,73		1 845,73	1 845,73
Общезаводские расходы	%	223,00		1 601,55		1 601,55	1 601,55		1 601,55	1 601,55
Себестоимость 1 м ³ без НДС				8 582,36		8 472,97	8 698,20		8 448,25	8 673,47
Себестоимость цена 1 м³ с НДС				10 298,84		10 167,57	10 437,84		10 137,89	10 408,16
Себестоимость 1 шт без НДС				23 515,67		23 215,94	23 833,06		23 148,19	23 765,31
Себестоимость цена 1 шт с НДС				28 218,81		27 859,13	28 599,67		27 777,83	28 518,37
Накопления (без НДС)	%		5,0	429,12	10,0	847,30	869,82	10,0	844,83	867,35
Отпускная цена 1 м ³ без НДС				9 011,48		9 320,27	9 568,02		9 293,08	9 540,82
Отпускная цена 1 м³ с НДС			1,2	10 813,78		11 184,32	11 481,62		11 151,70	11 448,98
Отпускная цена 1 шт без НДС				24 691,46		25 537,54	26 216,37		25 463,04	26 141,85
Отпускная цена 1 шт с НДС				29 629,75		30 645,05	31 459,64		30 555,65	31 370,22

Из полученных результатов таблицы 20 видно, что себестоимость продукции без применения тепловой обработки ниже себестоимости продукции с применением тепловой обработки, что обусловлено уменьшением затрат на теплоэнергию.

Учитывая полученные данные, рассмотрим основные показатели, характеризующие финансово-экономическое состояние производства при действующем изготовлении и при применении беспропарочного метода.

Сначала необходимо вычислить выручку от реализации продукции, которая рассчитывается по формуле:

$$B = V_p \times C_p, \quad (5)$$

где V_p – объем реализации продукции, который равен для рассматриваемого случая объему реализации продукции, шт.;

C_p – цена реализации единицы продукции, руб.

Для действующего производства выручка от реализации продукции равна:

$$B = 1\,729 \times 24\,691,46 = 42\,491\,534,3 \text{ руб.}$$

Для планируемого производства по первому варианту с применением комплекса добавок Полипласт Премиум + Master X-Seed 100 (далее – первый вариант) выручка составляет:

$$B_1 = (1\,729 \times 26\,216,37) + (741 \times 25\,537,54) = 64\,251\,420,87 \text{ руб.}$$

Для второго варианта планируемого производства с применением комплекса добавок MasterGlenium ACE 430 + Master X-Seed 100 (далее – второй вариант) выручка составляет:

$$B_2 = (1\,729 \times 26\,141,85) + (741 \times 25\,463,04) = 64\,067\,371,29 \text{ руб.}$$

Далее рассматривается прибыль, которая рассчитывается как разница между выручкой от продажи товаров и затратами на их производство, без учета НДС, по формуле:

$$П = В - С, \quad (6)$$

где В – выручка от реализации продукции, руб.;

С – производственная себестоимость, которая равна в данной работе всем затратам, руб.

Для действующего производства прибыль равна:

$$П = 42\,691\,534,3 - (23\,515,67 \times 1\,729) = 2\,032\,940,87 \text{ руб.}$$

Для планируемого производства по первому варианту прибыль составляет:

$$\begin{aligned} П_1 &= 64\,251\,420,87 - ((23\,833,06 \times 1\,729) + (23\,215,94 \times 741)) = \\ &= 5\,841\,048,59 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Для планируемого производства по второму варианту прибыль составляет:

$$\begin{aligned} П_2 &= 64\,067\,371,29 - ((23\,765,31 \times 1\,729) + (23\,148,19 \times 741)) = \\ &= 5\,824\,341,51 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Степень эффективности предприятия оценивается с помощью показателя рентабельности. Снижение рентабельности говорит о сокращении объёмов продаж или неэффективности осуществляемой деятельности.

Рентабельность рассчитывается как:

$$P = \Pi / B \times 100 \%, \quad (7)$$

где Π – прибыль производства, руб.;

B – выручка от реализации продукции, руб.

Рентабельность для действующего производства равна:

$$P = 2\,032\,940,87 / 42\,491\,534,3 \times 100\% = 4,8 \%$$

Рентабельность для первого варианта планируемого производства равна:

$$P_1 = 5\,841\,048,59 / 64\,251\,420,87 \times 100\% = 9,1 \%$$

Рентабельность для второго варианта планируемого производства равна:

$$P_2 = 5\,824\,341,51 / 64\,067\,371,29 \times 100\% = 9,1 \%$$

Полученные результаты расчета показателей экономического эффекта сведены в таблицу 21.

Таблица 21 – Анализ основных финансово-экономических показателей

Показатель	Ед. изм.	Действующее производство	Планируемое производство	
			I в.	II в.
Выпуск продукции в год	шт.	1729	2470	2470
- с тепловой обработкой		1729	1729	1729
- без тепловой обработки		-	741	741
Численность работников	чел.	10	10	10
Цена продукции без НДС	руб.	24 691,46	-	-
- с тепловой обработкой		24 691,46	26 216,37	26 141,85
- без тепловой обработки		-	25 537,54	25 463,04
Выручка	руб.	42 491 534,3	64 251 420,87	64 067 371,29
Прибыль	руб.	2 032 940,87	5 841 048,59	5 824 341,51
Рентабельность	%	4,8	9,1	9,1

Из таблицы 21 видно, что при применении беспропарочного метода производства железобетонных изделий в первом варианте прибыль от реализации продукции увеличивается на 3 808 107,72 рублей, во втором – на 3 791 400,64 рублей, что говорит об эффективности данной технологии изготовления изделий. Также об эффективности применяемого метода свидетельствует увеличение рентабельности на 4,3 % – для первого и второго вариантов она составила 9,1 %.

Таким образом, на основании полученных данных можно сделать вывод, что применение беспропарочного метода производства пустотных плит позволит расширить производственные объемы предприятия по данной технологической линии, без увеличения количества работающих и ввода второй смены.

4.2 Эффективность сокращенного режима тепловой обработки бетона при производстве железобетонной продукции

Суть сокращенного режима тепловой обработки бетона та же, что и в рассматриваемом ранее беспропарочном методе, – повышение выпуска производимой продукции без увеличения ресурсо- и энергозатрат с помощью

применения современных химических добавок-ускорителей. Основные характеристики сокращенного метода производства отражены в таблице 22.

Таблица 22 – Общая характеристики сокращенного метода

Показатель	Ед. изм.	Базовый	Проектный
Мощность по выпуску	шт./смена	7	14
Объем производства	шт./год	1 729	3 458
Длительность работы в течение года	день	247	247
Длительность смены	ч	8	8
Количество смен в сутки		1	1
Фонд времени работы цеха в год	ч	3 952	3 952
Годовой фонд времени одного работника	ч	1 976	1 976
Количество работников по технологической линии	чел.	10	10
Количество работников в смену	чел.	10	10
Производительность труда год	шт./чел.	173	346

На основании данных таблицы 22 видно, что при базовом изготовлении железобетонной продукции в смену изготавливается 7 штук изделий, пропариваемых по стандартному 14-часовому режиму пропаривания, а в год – 1 729 штук. При применении сокращенного 8-часового режима тепловой обработки планируется изготавливать в смену 14 штук изделий. Таким образом, в год планируется изготавливать 3 458 штук пустотных плит. Из чего следует, что объем производства выпускаемых изделий увеличится в 2 раза без увеличений численности рабочих и ввода второй смены.

Учитывая вышеизложенное, с помощью программы Microsoft Excel была произведена калькуляция отпускной цены изготавливаемых пустотных плит, производимых на действующей технологической линии (базовая) и на новой с применением сокращенного метода производства. Результаты расчета показаны в таблице 23.

Таблица 23 – Калькуляция отпускной цены производимой продукции

Изделие: плиты пустотные			Базовое		Проектное			
					Полипласт Премиум + Master X-Seed 100		MasterGlenium ACE 430 + Master X-Seed 100	
Объем изделия, м ³ (геометрич)			4 180×2 980×220		4 180×2 980×220		4 180×2 980×220	
Объем бетона в 1 изделии, м ³			2,740		2,740		2,740	
			1,565		1,565		1,565	
Наименование статей затрат	Ед. изм.	Цена за ед.	Норма на 1 м ³	Сумма руб. коп.	Норма на 1 м ³	Сумма руб. коп.	Норма на 1 м ³	Сумма руб. коп.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Состав 1	м ³	2 966,88	0,571	1 694,58				
Состав 2	м ³	3 169,68			0,571	1 810,42		
Состав 3	м ³	3 126,39					0,571	1 1785,69
Арматурная сталь и прокат	кг	52,71	30,161	1 589,88	30,161	1 589,88	30,161	1 589,88
в т.ч. закладные детали	кг		3,496		3,496		3,496	
Проволока вязальная	кг	56,83	0,259	14,73	0,259	14,73	0,259	14,73
Электроды	кг	151,67	0,151	22,87	0,151	22,87	0,151	22,87
Грунтовка	кг	152,50	0,038	5,74	0,038	5,74	0,038	5,74
Смазка Эколекс-4	кг	113,33	1,800	203,99	1,800	203,99	1,800	203,99
Итого материалов				3 531,82		3 647,63		3 622,91
Электроэнергия	кВт/ч	6,38	45,00	287,10	45,00	287,10	45,00	287,10
Теплоэнергия	Гкал	1 501,50	0,150	225,23	0,150	225,23	0,150	225,23
Зарплата основная производственных рабочих				718,18		718,18		718,18
Зарплата дополнительная производственных рабочих	%	23,00		165,18		165,18		165,18
Страховые взносы	%	23,50		207,59		207,59		207,59
Общепроизводственные расходы	%	257,00		1 845,73		1 845,73		1 845,73

Продолжение таблицы 23

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Общезаводские расходы	%	223,00		1 601,55		1 601,55		1 601,55
Себестоимость 1 м ³ без НДС				8 582,36		8 698,20		8 673,47
Себестоимость цена 1 м³ с НДС				10 298,84		10 437,84		10 408,16
Себестоимость 1 шт без НДС				23 515,67		23 833,06		23 765,31
Себестоимость цена 1 шт с НДС				28 218,81		28 599,67		28 518,37
Накопления (без НДС)	%		5,0	429,12	12,0	1 043,78	12,0	1 040,82
Отпускная цена 1 м ³ без НДС				9 011,48		9 741,98		9 714,29
Отпускная цена 1 м³ с НДС			1,2	10 813,78		11 690,38		11 657,15
Отпускная цена 1 шт без НДС				24 691,46		26 693,03		26 617,15
Отпускная цена 1 шт с НДС				29 629,75		32 031,64		31 940,58

Учитывая данные таблицы 23, так же рассмотрим основные показатели, характеризующие финансово-экономическое состояние производства при действующем изготовлении и при применении сокращенного метода.

Для действующего производства выручка от реализации продукции (5) равна:

$$B = 1\,729 \times 24\,691,46 = 42\,491\,534,3 \text{ руб.}$$

Для планируемого производства по первому варианту с применением комплекса добавок Полипласт Премиум + Master X-Seed 100 (далее – первый вариант) выручка составляет:

$$B_1 = 3\,458 \times 26\,693,03 = 92\,304\,497,7 \text{ руб.}$$

Для второго варианта планируемого производства с применением комплекса добавок MasterGlenium ACE 430 + Master X-Seed 100 (далее – второй вариант) выручка составляет:

$$B_2 = 3\,458 \times 26\,617,15 = 92\,042\,104,7 \text{ руб.}$$

Для действующего производства прибыль (6) равна:

$$П = 42\,691\,534,3 - (23\,515,67 \times 1\,729) = 2\,032\,940,87 \text{ руб.}$$

Для планируемого производства по первому варианту прибыль составляет:

$$П_1 = 92\,304\,497,7 - (3\,458 \times 23\,833,06) = 9\,889\,776,22 \text{ руб.}$$

Для планируемого производства по второму варианту прибыль составляет:

$$P_2 = 92\,042\,104,7 - (3\,458 \times 23\,765,31) = 9\,861\,662,72 \text{ руб.}$$

Рентабельность (7) для действующего производства равна:

$$P = 2\,032\,940,87 / 42\,691\,534,3 \times 100\% = 4,8 \%$$

Рентабельность для первого варианта планируемого производства равна:

$$P_1 = 9\,889\,776,22 / 92\,304\,497,7 \times 100\% = 10,7 \%$$

Рентабельность для второго варианта планируемого производства равна:

$$P_2 = 9\,861\,662,72 / 92\,042\,104,7 \times 100\% = 10,7 \%$$

Полученные результаты расчета показателей экономического эффекта сведены в таблицу 24.

Таблица 24 – Анализ основных финансово-экономических показателей

Показатель	Ед. изм.	Действующее производство	Планируемое производство	
			I в.	II в.
Выпуск продукции в год	шт.	1729	3458	3458
Численность работников	чел.	10	10	10
Цена продукции без НДС	руб.	24 691,46	26 693,03	26 617,15
Выручка	руб.	42 491 534,3	92 304 497,7	92 042 104,7
Прибыль	руб.	2 032 940,87	9 889 776,22	9 861 662,72
Рентабельность	%	4,8	10,7	10,7

Из таблицы 24 видно, что при применении сокращенного режима тепловой обработки бетона при производстве железобетонных изделий в первом варианте прибыль от реализации продукции увеличивается на 7 856 835,35 рублей, во втором – на 7 828 721,85 рублей, что говорит об эффективности использования данного режима. Рентабельность для первого и второго вариантов сокращенного пропаривания составила 10,7 %, что так же свидетельствует об эффективности рассматриваемого режима.

Таким образом, применение сокращенного режима тепловой обработки бетона с использованием современных химических добавок при производстве пустотных плит позволит расширить производственные объемы и повысить рентабельность производства.

Выводы по четвертой главе. В данной главе был проведен анализ финансово-экономической эффективности предлагаемых к использованию методов увеличения количества производимой продукции с применением химических добавок на заводах ЖБИ.

По результатам проведенных расчетов было выявлено, что при применении беспропарочного метода производства объем изготовления пустотных плит увеличится почти в 1,5 раза, а при использовании сокращенного режима – в 2 раза.

Заключение

По результатам проведенных исследований данной магистерской диссертации можно сделать вывод, что при правильном использовании рационально подобранного опытным путем комплекса химических добавок, можно получить бетон ускоренного твердения для дальнейшего увеличения объемов изготавливаемой продукции.

Для достижения поставленной цели в рамках проведенной исследовательской работы были решены следующие задачи:

- изучены теоретические сведения по вопросам, касающимся факторов, влияющих на набор прочности бетона, а также способов ускорения твердения бетона,
- исследовано влияния комплексных добавок, включающих ускорители твердения, на прочность бетона,
- проведен анализ прочности бетона при различных способах интенсификации его твердения,
- выполнен расчет финансово-экономического эффекта использования комплексных добавок при производстве железобетонной продукции.

В результате экспериментальных исследований химических добавок при ускорении набора прочности бетона были сформулированы следующие выводы:

- обоснована возможность сокращения режима тепловой обработки почти в 2 раза с использованием обычного пластификатора, широко применяемого на заводах по производству железобетонных изделий, в комплексе с инновационным ускорителем твердения,
- обоснована возможность изготовления бетонной и железобетонной продукции без применения тепловой обработки при использовании ускорителя твердения с целью увеличения объема выпускаемых изделий,

- рассчитан финансово-экономический эффект применения сокращенного режима тепловой обработки бетона и беспропарочного метода изготовления железобетонной продукции.

После сокращенного режима пропаривания, продолжительностью 8 часов, партия образцов, включающая в состав пластификатор Полипласт Премиум, используемый на многих заводах ЖБИ, не достигла даже 30 %-й трехсуточной прочности. Однако в комплексе с ускорителем твердения Master X-Seed 100 данный пластификатор показал результат, равный 16,5 МПа (85 % от марочной прочности), что говорит о совместимости указанных добавок и возможности использования Полипласт Премиум при сокращенном режиме пропаривания. Данные результаты свидетельствуют о возможности сокращения режима тепловой обработки почти в 2 раза.

Образцы, содержащие добавку-пластификатор Полипласт Премиум, при естественных условиях твердения показали прочность, равную 7,4 МПа (30 % от марочной прочности). В комплексе с ускорителем твердения Master X-Seed 100 пластификатор Полипласт Премиум на третьи сутки твердения показал результат, равный 17,1 МПа (89 % от марочной прочности). Таким образом, с применением правильно подобранной добавки-ускорителя возможно изготовление железобетонной продукции без использования тепловой обработки.

В результате финансово-экономического анализа было получено, что применение рассматриваемых технологий изготовления пустотных плит перекрытия позволит расширить производственные объемы предприятия по конкретной технологической линии, увеличить прибыль от реализации продукции, повысить производительность труда без увеличения количества работающих и ввода второй смены. При применении беспропарочного метода производства объем изготовления железобетонных изделий увеличится почти в 1,5 раза, а при использовании сокращенного режима – в 2 раза.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Баженов, Ю. М. Технология бетона : учебник / Баженов Ю. М. - 5-е издание. - Москва : Издательство АСВ, 2015. – 528 с.
2. Баканов М.И., Шеремет А.Д. Теория экономического анализа: Учебник. 4-е изд., доп. и перераб. - М.: Финансы и статистика, 2008. – 416 с.
3. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. 2-е изд. М.: Стройиздат 1998. – 768 с.
4. Бибик, М.С. Длительность предварительной выдержки бетона с химическими добавками / М.С. Бибик, М. Голшани, В.В. Бабицкий // Строительная наука и техника. - 2011. - № 4. – С. 14-16.
5. Бибик, М.С. Об энергосберегающих режимах тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий / М. С. Бибик, В. В. Бабицкий // Строительная наука и техника. - 2010. - № 4. – С. 55-59.
6. Быстротвердеющий цемент [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://1beton.info/vidy/bistrotverdeyushiy/bystrotverdeyushhij-tsement>
7. Вишневский В. И., Супер- и гиперпластификаторы для бетонов нового поколения / Вишневский В.И., Шкред Е.А.. – Текст : непосредственный // Технические науки в России и за рубежом : материалы VII Междунар. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2017 г.). – Москва : Буки-Веди, 2017. – С. 99-102.
8. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. - Введ. 2013-07-01. – М.: Стандартинформ, 2018. – 36 с.
9. ГОСТ 27006-2019 Бетоны. Правила подбора состава. - Введ. 2019 - 06-06. – М.: Стандартинформ, 2019. – 18 с.
10. ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. - Введ. 2010-04-29. – М.: Стандартинформ, 2010. – 15 с.

11. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия. - Введ. 2015-04-01. – М.: Стандартиформ, 2019. – 7 с.
12. ГОСТ 10181-2014. Смеси бетонные. Методы испытаний. - Введ. 2015 - 07-01. – М.: Стандартиформ, 2019. – 28с.
13. ГОСТ 22685-89 Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия. Введ. 1990-01-01. – М.: Стандартиформ, 2006. – 11 с.
14. ГОСТ 31108-2020 Цементы общестроительные. Технические условия. Введ. 2022-01-01. – М.: Стандартиформ, 2020. – 15 с.
15. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. Введ. 1995-01-01. – М. : Стандартиформ, 2018. – 21 с.
16. Изотов В.С. Химические добавки для модификации бетона: монография / В.С. Изотов, Ю.А. Соколова. — М.: Казанский Государственный архитектурно-строительный университет: Изд-во «Палеотип», 2006. – 244 с.
17. Калиновская Н.Н., Котов Д.С., Щербицкая Е.В. Аналитические зависимости и методика проектирования современных составов бетона многопустотных плит перекрытия // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки: научно-теоретический журнал. - 2018. - № 8. – С. 43-49
18. Каримов И.Ш. Прочность сцепления цементного камня с заполнителями в бетоне и факторы, влияющие на нее // Технологии бетонов. 2013. № 4 (81). С. 28-31.
19. Ковалев В.В., Волкова О.Н. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: Учебник – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2008
20. Моляков Д.С., Шохин Б.И. Теория финансов предприятий: Учеб. пособие. - М.: Финансы и статистика, 2004. – 112 с.

21. Полипласт Премиум: Техническое описание [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://polyplast-un.ru/upload/iblock/3a6/e55nfzhxr0bc2c2euycmwkmzqp1r750o.pdf>
22. Полторан Я.Е., Ведищев К.А Прочность бетона и факторы, влияющие на нее// Научно-практический электронный журнал «Аллея Науки» №7 (34). 2019
23. Попов К.Н., Каддо М.Б. Строительные материалы и изделия: Учеб. – М.: Высш. шк. , 2001. – 367 с.
24. Пресс испытательный гидравлический МС-500: Техническое описание [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rscim.ru/produkcija/ispitatelnie-pressi/laboratornye-pressy-tipa-ms/ms-500>
25. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И., Добавки в бетон. М: Стройиздат. 1989. 188 с.
26. Р-НП СРО ССК-02-2015 Рекомендации по производству бетонных работ в зимний период. - Введ. 2016-04-16. – Челябинск: НП СРО «ССК УрСиб», 2015. – 84 с.
27. Руководство по тепловой обработке бетонных и железобетонных изделий. М., Стройиздат, 1974. – 32 с.
28. Суходоева Н.В., Бабицкий В.В. Методика проектирования состава бетона // Вестник Белорусско-Российского университета. - № 2. – С. 167-176.
29. Усов Б.А., Окольников Г.Э. Химические добавки в технологии сборного железобетона // Экология и строительство. – 2015. №4. – С. 7-14
30. Ушеров-Маршак, А.В. Добавки в бетон: прогресс и проблемы / А.В. Ушеров-Маршак // Строительные материалы. – 2006. – № 10. – С. 8-12.
31. Шишканова В.Н., Зимина А.А. О возможности изготовления железобетонной продукции без тепловой обработки // СОВРЕМЕННЫЕ НАУЧНЫЕ ЗНАНИЯ: сборник статей Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2023. С. 16-20

32. Шишканова, В.Н. Определение свойств строительных материалов : практикум / В.Н. Шишканова. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2017. – 116 с.
33. A.G.A. Saul, Principles underlying the steam curing of concrete at atmospheric pressure, Volume 2 Issue 6, March 1951, pp. 127-140
34. J.L. Wang, G.C. Long, Y. Xiang, R.Z. Dong, Z. Tang, Q.Y. Xiao, Z.H. Yang, K.L. Ma, Influence of rapid curing methods on concrete microstructure and properties: a review, Case Stud. Constr. Mater. 17 (2022), e0160
35. MasterGlenium ACE 430: Техническое описание [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://assets.master-builders-solutions.com/ru-ru/masterglenium-ace-430-tds.pdf>
36. Master X-Seed 100: Техническое описание [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://assets.master-builders-solutions.com/ru-ru/master-x-seed-100-tds.pdf>
37. Patel, Н.Н., Bland, С.Н., Poole, А.В, 1995. The microstructure of concrete cured at elevated temperatures. Cem. Concr. Res. 25 (3), 485-490
38. Ramachandran V., Malhotra V., Jolicouer C., Spiratos N. Superplasticizers: properties and applications in concrete. Canmet, Ottawa, 1998. 404 p.
39. Selcuk Türkel, Volkan Alabas, The effect of excessive steam curing on Portland composite cement concrete. Cem. Concr. Res. 35 (2) (2005) 405–411.
40. Zeyad A.M., Tayeh, B.A., Adesina, A., de Azevedo, A.R.G., Amin, M., Hadzima-Nyarko, M., Agwa, I.S., 2022. Review on effect of steam curing on behavior of concrete. Clean. Mater. 3, 10004