

Введение Исследованием процессов происходящих при автоклавной обработке различных материалов занимались многие ученые (П.И. Боженков, П.П. Будников, А.В. Волженский, П.Г. Комохов, О.П. Мчедлов-Петросян и др.). А.В. Волженским [1] разработаны основные положения теории запаривания известково-кремниземистых материалов, которые приемлемы для всех материалов автоклавного твердения. Первая стадия включает тот период запаривания, который начинается с момента впуска пара в автоклав и заканчивается при достижении равенства температур теплоносителя и обрабатываемых изделий. Вторая стадия характеризуется постоянством температуры и давления в автоклаве. При этом максимальное развитие получают все те химические и физико-химические процессы, которые обуславливают возникновение цементирующих новообразований и твердение бетонных изделий. Третья стадия начинается с момента прекращения доступа пара в автоклав и включает время остывания изделий в нем до момента их извлечения. На первой стадии обработки из-за разницы температуры пара и запариваемого изделия в последнем возникают значительные термические напряжения. Они проявляются тем сильнее, чем выше скорость подъема температуры. Термические напряжения могут не только нарушать структуру материала и вызывать понижение прочности изделий, но и приводить к полному разрушению. Поэтому, как известно время выдержки сырьевой смеси перед автоклавной обработкой, в период которой протекают физико-химические процессы гидратации вяжущего и формирования структуры, оказывает существенное влияние на качественные характеристики автоклавных материалов. Для каждого состава сырьевой смеси существует определенный оптимум времени выдерживания перед автоклавной обработкой [2]. В процессе изготовления, фиброцементные изделия после прессования подвергаются пропариванию при температуре 55-60 °С по режиму 3+6+3 ч. При этом образцы набирают начальную прочность, что позволяет бездефектно снимать их с форм и подготавливать к автоклавированию. При пропаривании протекают физико-химические процессы гидратации вяжущего и формирования структуры фиброцементных плит (ФЦП), при этом, по нашему мнению, не требуется дополнительная выдержка перед автоклавной обработкой, а скорость набора температуры можно увеличить. На второй стадии максимальное развитие получают процессы, которые ведут к образованию монолита. Процессом, определяющим скорость образования цементирующих веществ, следует считать переход аморфного кремнезема в раствор и образование поликремниевой кислоты. Поэтому, чем выше активность минеральных компонентов, тем быстрее происходит рост новообразований. Прочность затвердевшего вяжущего определяется степенью гидратации, количеством новообразований, их качественными характеристиками, и в частности степенью дисперсности, видом вяжущего, а также условиями и длительностью твердения [3]. Большое влияние на продолжительность

изотермической выдержки оказывает толщина запариваемых изделий. Известно [2], что для всех видов бетона с увеличением толщины запариваемых изделий продолжительность изотермической выдержки возрастает. Вышесказанное позволяет предположить, что ФЦП малой толщины (8-10мм), имеющие в своем составе тонкомолотую высокоактивную минеральную добавку и тонкомолотый минеральный наполнитель для достижения полной гидратации потребует меньшей продолжительности изотермической выдержки. На третьей стадии запаривания с прекращением подачи пара происходит снижение температуры и давления в автоклаве. При этом происходит снижение температуры воды, находящейся в порах материала с последующим испарением. При охлаждении автоклава с применением выпуска пара в теле изделия возникают интенсивные токи воды и пара, которые при чрезмерно быстром сбросе давления могут в значительной мере нарушить структуру цементирующих веществ и понизить прочность изделий. Особенностью третьей стадии запаривания являются процессы высыхания изделий и цементирующих новообразований, что оказывает влияние на ряд свойств материала и в первую очередь на прочность. Для различных по химическому и минералогическому составу материалов и изделий требуется дифференцированный подход к выбору режима автоклавной обработки на всех стадиях [4].

Экспериментальная часть В процессе исследований были использованы следующие материалы:

- а) вяжущее: - портландцемент марки ПЦ500-Д0-Н ГОСТ 10178-85 ОАО «Вольскцемент».
- б) наполнитель: - молотый кварцевый песок камского месторождения удельной поверхностью 310 м²/кг.
- в) волокна: - целлюлозные волокна марки НСК СТО 00279189-2-2007 ОАО «Соломбальский ЦБК».
- г) модифицирующие добавки: - полиакриламид «Besfloc K4045» ТУ 6-01-1049-92 «KOLON LIFE SCIENCE, INC.» (ионный заряд - анионный, степень ионного заряда высокая, вязкость 0,2% раствора при 25°С - 550 спз, рН 0,1% раствора - 6,9%); - полифенилэтоксисилоксан марки ФЭС-50 ТУ 2257-441-05763441-2005 ОАО «Химпром» г.Новочебоксарск; - каолин по ТУ 5729-016-48174985-2003 ООО НПП «Промышленные минералы» г. Тольятти;
- д) вода: - водопроводная питьевая вода, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 23732.

Образцы изготавливали по мокрому способу производства фиброцементных изделий следующим образом. Распушивали волокна целлюлозы до получения степени помола 30-35° ШР, смешивали их с кварцевым песком, предварительно измельченным до степени помола 310 м²/кг, добавляли термически обработанный каолин, предварительно измельченный до степени помола 1300 м²/кг, портландцемент, полиакриламид, полифенилэтоксисилоксан и воду. Далее осуществляли формование изделий, отфильтровывая воду из фиброцементной смеси до необходимого уплотнения, придавая им заданную форму и размеры, после чего изделия (плиты) подвергали прессованию и тепловлажностной обработке в пропарочной камере. Окончательное твердение изделий производили в автоклаве. Для управления

режимами автоклавной обработки использовали терморегулятор ТРМ-200 производства фирмы «ОВЕН» снабженный пускателем и термопарой установленной в специальное гнездо в автоклаве. Прочность образцов на изгиб после автоклавной обработки (Ризг), водопоглощение (W) и морозостойкость (F) определяли в соответствии с ГОСТ 8747-88 [4]. Измерение усадочных деформаций проводили на образцах-плитках 220x100x8мм, при помощи автоматического регистратора усадочных деформаций «Автограф». Прибор оснащен датчиками линейной деформации, температуры и влажности окружающей среды. Воздухостойкость ФЦП определяли по известной методике, основанной на определении прочности образца после попеременных циклов увлажнения и высушивания. В качестве критерия оценки был принят коэффициент воздухостойкости равный отношению предела прочности при изгибе ФЦП подвергнутого увлажнению и высушиванию к контрольному.

Результаты исследований Для подтверждения наших предположений и с целью определения оптимальных параметров автоклавной обработки модифицированных ФЦП нами выполнены экспериментальные исследования влияния скорости подъема температуры и давления до требуемой величины, длительности выдерживания при максимальной температуре и условия спуска давления от максимального до атмосферного на физико-механические свойства ФЦП. Оптимизация режима автоклавной обработки фиброцементной смеси [6] на основе модифицированного смешанного вяжущего [7] выполнялась путем реализации трехфакторного плана второго порядка на гиперкубе. В качестве исходных независимых переменных определены такие факторы, как скорость подъема температуры (X1) (87,5-116,7°С/ч); длительность изотермической выдержки (X2) (4-8 ч); скорость охлаждения (X3) (87,5-116,7°С/ч). Уровни варьирования независимых переменных приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Уровни варьирования независимых переменных		Факторы		Наименование факторов	
Уровни варьирования	-I 0 +I	X1	Скорость подъема температуры	116,7	87,5 116,7
X2	Длительность изотермической выдержки	4	6	8	X3
87,5	58,3	Скорость охлаждения		116,7	87,5

В качестве отклика выбраны прочность на изгиб автоклавированных фиброцементных плит (ФЦП). Произведенная обработка результатов математического планирования, позволила получить следующую математическую зависимость: (1) Для определения адекватности полученных уравнений регрессий произведена оценка их статистической значимости с табличным значением (критерий Фишера). Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2 - Статистическая оценка полученных зависимостей № формулы		Критерий Фишера		Табличное значение		Расчетное значение	
1	5,05	4,36	На рис. 1-3				

На рис. 1-3 приведена графическая интерпретация результатов обработки математической модели (1). Как следует из уравнения регрессии (1) и данных, приведенных на рис. 1-3, с увеличением времени изотермической выдержки и уменьшении скорости охлаждения наблюдается рост прочности ФЦП.

Сокращение режима автоклавной обработки, а именно совместного снижения времени изотермической выдержки до 5 ч и увеличения скорости подъема температуры в автоклаве до 87,5°С/ч не оказывает существенного влияния на физико-механические свойства ФЦП. Дальнейшее снижение времени изотермии, и увеличение скорости нагрева приводит к снижению прочности ФЦП. Понижение прочности ФЦП при увеличении скорости охлаждения, по-видимому, объясняется тем, что при чрезмерно быстром сбросе давления в теле ФЦП возникают значительные термические напряжения, интенсивные токи воды и пара, которые в значительной мере нарушают структуру цементирующих веществ. Рис. 1 - Влияние режима автоклавной обработки на предел прочности при изгибе ФЦП: X1 - const. Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что увеличение скорости нагрева с 58 до 88°С/ч не оказывает существенного влияния на прочностные характеристики ФЦП. Рис. 2 - Влияние режима автоклавной обработки на предел прочности при изгибе ФЦП: X2 - const. Рис. 3 - Влияние режима автоклавной обработки на предел прочности при изгибе ФЦП: X3 - const. Увеличение скорости нагрева свыше 88°С/ч и увеличение скорости охлаждения свыше 88°С/ч приводит к заметному снижению прочности ФЦП. Образцы ФЦП полученные по оптимальному режиму автоклавной обработки подвергали испытаниям на водопоглощение, морозостойкость, деформации усадки/набухания, воздухоустойчивость, водостойкость и теплопроводность. Установлено, что сокращение продолжительности автоклавной обработки не приводит к снижению исследуемых эксплуатационных свойств ФЦП. Заключение 1. Выполненные исследования показали, что оптимальным параметром автоклавной обработки ФЦП повышенной долговечности является: скорость нагрева - 88°С/ч, время изотермической выдержки при $t=175^{\circ}\text{C}$ и $P=1$ МПа - 5 ч, скорость охлаждения - 88°С/ч. Оптимизация параметров автоклавной обработки, позволила сократить ее продолжительность на 4 часа. 2. Получены ФЦП со следующими удельными характеристиками: предел прочности при изгибе - 27,5 МПа, теплопроводность - 0,22 Вт/м °С, усадка - 0,2 мм/м, морозостойкость - 250 циклов, воздухоустойчивость - 300 циклов, ударная вязкость - 2,5 кДж/м², водопоглощение - 3 %, коэффициент водостойкости - 0,95.