

УДК 666.972

Бибик М. С. к.т.н., директор (ОАО «Завод СЖБ № 1»), **Бабицкий В. В., д.т.н., профессор** (Белорусский национальный технический университет), **Семенюк С.Д., д.т.н., зав. каф.** (Белорусско-Российский университет, Республика Беларусь)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПЕРИОДОВ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНОГО РЕЖИМА ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ БЕТОНА

Предложена упрощенная методика оценки интегральных характеристик вяжущих и химических добавок, которые могут быть использованы для корректировки режимов тепловой обработки бетона.

The simplified technique of an estimation of integrated characteristics of knitting and chemical additives which can be used for updating of modes of thermal processing of concrete is offered.

Тепловлажностная обработка бетона – один из основных технологических переделов, обеспечивающих в кратчайшие сроки получение бетонных и железобетонных конструкций с должным качеством. Но оптимизация (как по характеристикам бетона, так и по стоимости) режима тепловой обработки, включая и простейший трапецеидальный (предварительная выдержка, подъем температуры, изотермическая выдержка) – весьма ответственный и трудоемкий процесс, поскольку инженеру-технологу необходимо учитывать не только составы бетонной смеси, но многочисленные свойства ее компонентов, особенности тепловых агрегатов, внешние условия и т.д. [1-5].

Свойства компонентов бетонной смеси непрерывно изменяются, несколько раз в год в соответствии с достигнутой однородностью бетона по прочности на сжатие варьируется состав бетона, непостоянен ритм производства (определяется потребностью тех либо иных изделий) и т.д. Каким образом заводской инженер сможет все это учесть – не ясно. И поэтому применяемые на том либо ином предприятии режимы тепловлажностной обработки остаются длительное время практически неизменными.

Выход видится в широкой компьютеризации многофакторного проектирования (именно проектирования, а не подбора!) как составов бетона, так и режимов тепловлажностной обработки изделий. И именно в этом направлении в последнее время ведутся работы на кафедре «Технология бетона и строительные материалы» Белорусского национального технического университета (БНТУ) и в ОАО «Завод СЖБ № 1» [6-12].

Разработанный в БНТУ программный продукт, получивший условное название «Технолог», предназначен для автоматизации расчетов, связанных с технологией бетона: проектирование составов тяжелого бетона (с учетом разнообразных свойств цемента, заполнителей и химических добавок, марки бетонной смеси по удобоукладываемости, класса бетона по прочности на сжатие, марок по морозостойкости и водонепроницаемости); оценка эффективности применяемых химических и минеральных добавок; расчет однородности бетона; оценка прочности бетона по данным неразрушающего контроля; расчет долговечности железобетонных конструкций при воздействии углекислого газа и сред, содержащих хлор-ионы; расчет кинетики твердения монолитного бетона (с учетом различных теплотехнических характеристик опалубки, изменяющихся во времени температурных условий, состава бетона, включающего и противоморозные добавки) и пр.

Кроме того, в состав программного продукта входит и функция расчета режимов тепловлажностной обработки бетона в ямных пропарочных камерах [8-12]. При этом учитываются состав бетона, конструктивные и теплотехнические характеристики теплового агрегата, изменение температуры в цехе или на полигоне. Из всего многообразия режимов твердения выбирается тот, который характеризуется минимальной суммарной стоимостью 1 м^3 бетонной смеси и теплоносителя (пара), идущего на тепловую обработку. Работа с программой элементарна: оператор задает любые (по длительности и температуре) периоды режима и в результате автоматических расчетов получает графики, отражающие кинетику изменения степени гидратации и, как следствие, тепловыделения цемента, температуры и прочности бетона. Все расчеты основываются на системе зависимостей, связывающих степень гидратации цемента со временем и условиями твердения бетона, свойствами самого цемента, характеристиками химических добавок и пр.

Казалось бы, получена идеальная математическая модель. Но, к сожалению, в ее основу заложены пусть и многочисленные, но все же некие усредненные влияющие факторы, почерпнутые из справочников, монографий, статей, нормативных документов, анализа результатов экспериментов. Например, ускоритель «такой-то» при «некоей» дозировке позволяет в возрасте 1 сутки увеличить прочность бетона в 2 раза. Естественно, таких данных для получения более достоверной информации явно недостаточно. Кроме того, при вводе оператором предполагаемого режима технолог основывается в известной степени на интуицию, поскольку четкие рекомендации по продолжительности предварительной выдержки, скорости подъема температуры, длительности изотермической выдержки в связи со всем многообразием влияющих факторов отсутствуют.

В результате мы приходим к напрашивающемуся выводу – каждая заводская лаборатория должна быть оборудована простейшим устройством,

позволяющим рядовому инженеру-технологу проводить экспресс-анализ поступающих на предприятие вяжущих и химических добавок на предмет изучения структурообразования цементного камня и бетона и оперативной корректировки действующих режимов тепловлажностной обработки бетонных и железобетонных изделий.

При разработке такого устройства мы обратились к достаточно подробно отработанной методике оценки свойств твердеющего цементного теста (бетонной смеси) по кинетике тепловыделения [13]. Не приводя в данной работе сравнительного анализа различных методик, предназначенных для анализа кинетики структурообразования цементного теста, констатируем – калориметрические методы объективны и сравнительно просты. Ранее [11] мы еще более упростили методику текущего измерения температуры твердеющего цементного теста, сделав ее доступной для любой заводской лаборатории (рис. 1).

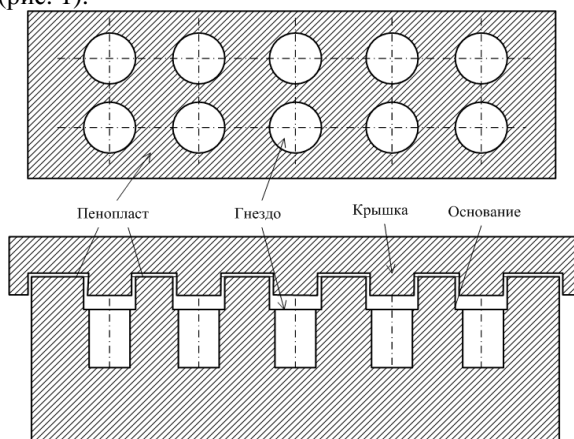


Рис. 1. Схема установки для регистрации кинетики изменения температуры цементного теста

Работоспособность установки покажем на простом примере. Кинетику тепловыделения цементного теста исследовали при изменении относительного водосодержания (отношение текущего водоцементного отношения к коэффициенту нормальной густоты) в пределах его структурной связности (по И.Н. Ахвердову), то есть от 1 до 1,65. Химические добавки, использованные в экспериментах: ускоритель твердения – ХК, замедлитель – ТБН. На рис. 2 представлены выборочные данные по кинетике изменения температуры цементного теста нормальной густоты. Полученные кривые внешне практически полностью соответствуют, например, кинетике изменения пластической прочности цементного теста или его контракции – вначале ярко выражен так называемый индукционный период, затем следует этап интенсивного нарастания характеристик. То есть эти кривые могут быть основой для анализа кинетики гидратации цемента в начальной стадии (что

именно нас и интересует) твердения цементного теста. Для анализа же последующих стадий структурообразования удобнее представить результаты в сетке координат «время твердения – интегральная температурная характеристика цементного теста» [11]. Графики кинетики изменения температуры цементного теста (рис. 2) разбивают на одинаковые периоды и для каждого периода рассчитывают произведение средней температуры за период на время периода. Затем строят график зависимости интегральной температурной характеристики цементного теста (сумма произведений температуры и времени на данном периоде твердения и на предыдущих) от времени (рис. 3).

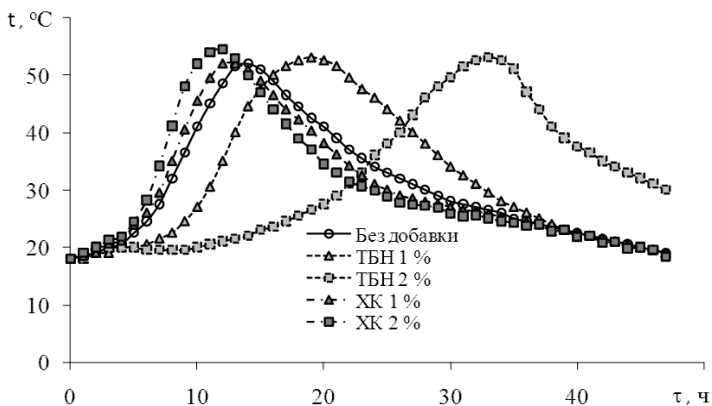


Рис.2. Зависимость температуры цементного теста (t) от времени твердения (τ)

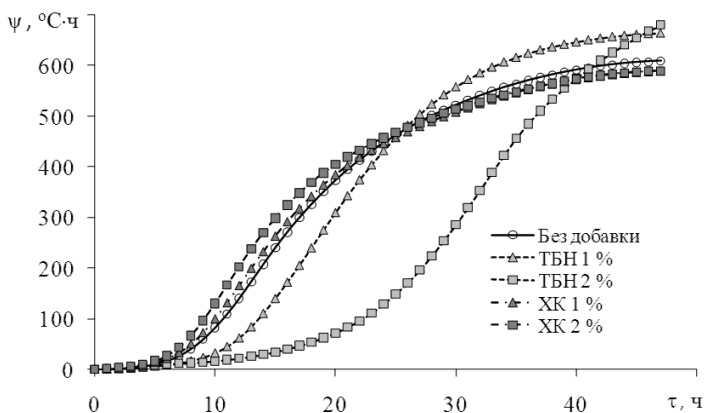


Рис.3. Зависимость интегральной температурной характеристики цементного теста (ψ) от времени твердения цементного теста

Анализ всего массива данных, полученных в лабораторных и производственных условиях, по тепловыделению цемента и его связи с продолжительностью предварительной выдержки бетона, а также скоростью подъема температуры, показал, что можно предложить следующую методику оценки твердеющего цементного теста на предмет разработки режима твердения бетона.

Приготавливают цементное тесто с водоцементным отношением, соответствующим водоцементному отношению теста в бетонной смеси. Цементное тесто помещают в пластмассовые цилиндрические формочки диаметром и высотой 70 мм, внутренние поверхности которых предварительно смазывают консистентным антиадгезионным составом (вазелин, солидол и пр.). Цементное тесто уплотняют на стандартной лабораторной виброплощадке, заглаживают, а затем формочку закрывают крышкой. На внешней боковой поверхности каждой формочки закрепляют датчики для непрерывной регистрации времени испытания и температуры цементного теста (в нашем случае DS 1921 системы «Термохрон»). Каждую формочку устанавливают в отдельное гнездо основания установки (рис. 1). Затем основание плотно накрывают крышкой. Испытания проводят в течение 24 ч (при высоком начальном водосодержании цементного теста и наличии замедлителей твердения 48 ч).

По окончании испытаний установку раскрывают, цилиндрические образцы цементного камня извлекают из формочек и испытывают на сжатие, после чего рассчитывают ориентировочную степень гидратации цемента:

$$\alpha = \frac{435 \cdot B/\Pi}{k_{B/\Pi} \cdot \frac{f_{\Pi}}{f_{\text{цк}}} + 1}, \%$$

где $k_{B/\Pi}$ - коэффициент учитывающий влияние водоцементного отношения:

$$\text{при } B/\Pi < 0,4 \quad k_{B/\Pi} = \frac{0,75}{B/\Pi},$$

$$\text{а при } B/\Pi \geq 0,4 \quad k_{B/\Pi} = 1,6 - 0,5 \cdot (B/\Pi - 0,4);$$

f_{Π} - активность цемента, МПа;

$f_{\text{цк}}$ - прочность образцов цементного камня, МПа.

По показаниям датчиков строят график зависимости температуры цементного теста от времени испытаний (рис. 4). Фиксируют точку перегиба графика, свидетельствующую об окончании индукционного периода твердения цементного теста и на основании которой оптимизируют продолжительность предварительной выдержки бетона перед тепловлажностной обработкой бетона.

Далее переходят к построению графика зависимости интегральной температурной характеристики цементного теста (рис. 4). К полученной кривой на стадии нарастания интегральной температурной характеристики цементного теста проводят касательную до пересечения с осью «время». Получаемый угол между осью абсцисс и касательной β определяет интенсивность структурообразования цементного камня и служит основанием для определения скорости подъема температуры при тепловой обработке бетона.

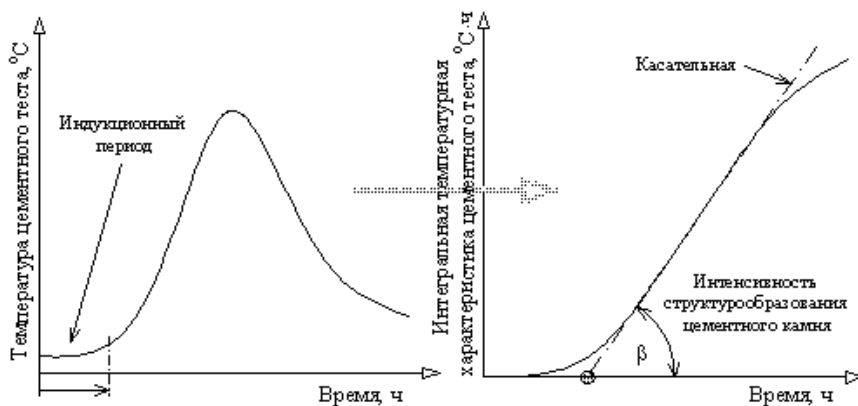


Рис.4. Принцип расчета продолжительности индукционного периода и интенсивности структурообразования цементного теста

Величина интегральной температурной характеристики цементного теста ко времени твердения 24 ч (или 48 ч) берется основой для расчета удельного тепловыделения цемента в кДж/кг [14]. А затем удельное тепловыделение относят к ранее полученной величине степени гидратации цемента, получая величину удельного тепловыделения на 1 % прогидратировавшегося вяжущего, что в последующем позволяет, прогнозируя степень гидратации цемента на любом этапе твердения, рассчитывать соответствующий приход теплоты. Полученные интегральные характеристики цементного камня, конкретные для исследуемых вяжущих и добавок, вводят в качестве влияющих факторов в программу «Технолог». Последующий расчет кинетики гидратации цемента и, как следствие, определение основных периодов трапецидального режима тепловлажностной обработки бетона осуществляется не на основе обобщенных литературных данных, а базируясь на точных характеристиках цемента или добавок, оперативно полученных в заводской лаборатории. И рядовой инженер-технолог, не прибегая к дорогостоящим испытаниям в научных организациях, например, интенсивно рекламируемых каким-либо поставщиком химических добавок, может через сутки составить общее впечатление о целесообразности их применения.

Выводы. Предложена установка для оценки кинетики изменения температуры твердеющего цементного теста, в том числе и с химическими добавки. Разработана упрощенная методика оценки продолжительности индукционного периода и интенсивности структурообразования цементного камня. Результаты анализа кривых изменения тепловыделения цемента позволяют получать интегральные характеристики вяжущих и химических добавок, которые, в свою очередь, могут быть использованы для корректировки трапецеидальных режимов тепловлажностной обработки бетонных и железобетонных изделий, рассчитываемых с помощью компьютерной программы «Технолог». Предложенная методика отрабатывается при расчетах режимов тепловлажностной обработки бетона на ОАО «Завод ЖБИ № 1».

1. Малинина Л. А. Тепловлажностная обработка тяжелого бетона. - М.: Стройиздат, 1977.- 159с. 2. Миронов С.А., Френкель И.М., Малинина Л.А. и др. Рост прочности бетона при пропаривании и последующем твердении. – М.: Стройиздат, 1973. – 96 с. 3. Малинина Л. А., Миронов С. А. Ускорение твердения бетона. - М.: Стройиздат, 1964. - 347с. 4. Производство сборных железобетонных изделий: Справочник / Г.И. Бердичевский, А.П. Васильев, Л.А. Малинина и др.; под ред. К.В. Михайлова, К.М. Королева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1989. – 447 с. 5. ТКП 45-5.03-13-2005 (02250) Изделия бетонные и железобетонные сборные. Правила тепловлажностной обработки. – Мн.: Стройтехнорм, 2006. – 59 с. 6. Бабицкий В.В., Семенюк С.Д., Бибик М.С. Прогнозирование характеристик твердеющего тяжелого бетона // Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. Випуск 18. – Рівне, 2009. – с. 3-12. 7. Блещик Н.П., Бабицкий В.В., Дрозд А.А., Щербицкая Е.В. Проектирование состава бетона и режимов тепловой обработки железобетонных конструкций // Строительная наука и техника. – 2006. – № 3(6). – с. 37-42. 8. Бабицкий В.В., Суходоева Н.В. Элементы проектирования режима тепловлажностной обработки бетона // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: Сб. трудов XV Международного научно-методического семинара. – Новополоцк, 2008. – С. 139-143. 9. Бибик М.С., Суходоева Н.В., Бабицкий В.В. К возможности проектирования режима тепловой обработки бетона в ямных пропарочных камерах // Строительная наука и техника. – 2009. – №2(23). – с. 58-63. 10. Бибик М.С., Бабицкий В.В. Общие принципы проектирования энергосберегающих режимов тепловой обработки железобетонных изделий в ямных пропарочных камерах // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сб. науч. ст. – Гродно, 2010. – С. 292-296. 11. Бибик М.С., Бабицкий В.В. Оценка кинетики твердения цементного камня с использованием термодатчиков системы «Термохрон» // Строительная наука и техника. – 2010. – №4(31). – с. 23-26. 12. Бибик М.С., Бабицкий В.В. Об энергосберегающих режимах тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий // Строительная наука и техника. – 2010. – №4(31). – с. 55-59. 13. Мчедлов-Петросян О.П., Ушеров-Маршак А.В., Урженко А.М. Тепловыделение при твердении вяжущих веществ и бетонов. – М.: Стройиздат, 1984. – 225 с. 14. Бибик М.С. Энергоресурсосберегающая технология производства сборных железобетонных изделий и конструкций: дис.... канд. техн. наук: 05.23.05. – Минск. – 1990. – 260с.