

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПО ТЕРМООБРАБОТКЕ БЕТОНА ЗИМОЙ В МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGIES AND WORKS IN CONSTRUCTION BY OPTIMIZING HEAT TREATMENT OF CONCRETE IN THE WINTER IN THE MONOLITHIC STRUCTURES

Кривицкая Т.В.,

*Брестский государственный технический университет,
г. Брест, Республика Беларусь*

Krivitskaya T.V.,

*Brest state technical university, Brest,
Republic of Belarus*

Аннотация

В статье приведены результаты исследований по производству бетонных работ зимой при возведении монолитных конструкций в Республике Беларусь. Рассмотрены методы прогрева бетона, предложены методические положения по автоматизированному расчету и организационно-технологические по расчету, проектированию и выполнению работ по прогреву бетона с использованием греющих электропроводов. Обоснована необходимость внедрения автоматизированных информационных технологий в производственных организациях, рассмотрены функциональные возможности новых технологий оперативного управления.

Summary

The outcomes of researches on production of concrete work& in the winter for want of erection of monolithic constructions in Republic of Belarus are represented. The methods of a warm-up of concrete are considered, are offered new methodical and is organizational-technological positions on account, designing and fulfillment of works with a warm-up of concrete heating by electrical wires. Need of introduction of the automated information technologies for the production organizations is reasonable, functionality of new technologies of operational management.

В современных условиях Республики Беларусь весьма важной является задача по совершенствованию и изысканию новых технологий проектирования и производства работ возведения монолитных железобетонных конструкций в направлении на сокращение сроков строительства, экономию энергетических затрат и улучшение качества. Особенно это актуально для зимних условий в монолитных конструкциях, какими являются несущие каркасы многих зданий и сооружений.

Деятельность по развитию строительного комплекса неразрывно связана с четко выраженной главной целью функционирования национальной экономики, имеющей социальный характер. Основные задачи деятельности Министерства архитектуры и строительства в тесной связи с Управлением строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства экономики закреплены в «Концепции развития строительного комплекса Республики Беларусь на 2011–2020 гг.» [1].

В последнее десятилетие в строительстве наметилась тенденция более широкого использования монолитного бетона. Наряду с рядом положительных качеств при использовании монолитного бетона в процессе производства строительно-монтажных работ возникают проблемы, связанные с расходом энергоресурсов. Дополнительный расход энергоресурсов возникает при необходимости ускорения процесса твердения бетона, а также при выполнении монолитных работ в зимнее время в условиях отрицательной температуры воздуха. Помимо известных разработок ЦНИИОМТП, НИИЖБ и других, были проведены глубокие исследования по термообработке таких конструкций с использованием греющих изолированных электропроводов [2]. Процессы технологического обеспечения обогрева и выдерживания бетона относятся к основной группе работ по изготовлению монолитных железобетонных конструкций и во многом определяют их конечные свойства и общее качество возводимых зданий и сооружений по критериям долговечности и надежности. Собранные по результатам производственных исследований данные на объектах, возводимых различными строительными организациями, позволяют осуществить разработку методики расчета и проектирования термообработки бетона зимой в массивных монолитных конструкциях при низких температурах окружающей среды (до -25°C).

Результат проведенных производственных исследований с применением автоматизированной технологии термообработки бетона – получение к окончанию процесса тепловой обработки бетона, обладающего заданными характеристиками, а также данных, корректирующих значения переменных, которые принимают по номограммам, разработанным для типовых технологических карт, что обеспечило сокращение сроков строительства, снижение затраты и улучшение качества конструкций.

При выполнении монолитных работ в зимних условиях возникают большие сложности. Главная проблема – замерзание несвязанной воды затворения в начальный период структурообразования бетона. Основной задачей производства бетонных работ в зимних условиях является обеспечение надлежащих температурных условий выдерживания бетона и сокращение сроков набора им необходимой прочности. Бетонирование при отрицательных температурах требует применения специальных способов приготовления, подачи, укладки и выдерживания бетона. Выбор технологии зимнего бетонирования осуществляется с учетом особенностей конструкций, температурных условий и сроков бетонирования.

В строительных организациях Республики Беларусь при устройстве массивных монолитных конструкций используются различные способы тепловой обработки. Наибольшее распространение получили следующие методы: метод термоса, противоморозные добавки и ускорители твердения, предварительный разогрев бетонной смеси перед укладкой в опалубку, обогрев бетона монолитных конструкций нагревательными проводами, применение "теплого" бетона, термоопалубка (греющие опалубки), индукционный прогрев.

Рассматривая зимнее бетонирование, следует отметить, что каждый из методов прогрева бетона сам по себе или в комбинации с другими позволяет вести бетонные работы при различной температуре окружающей среды. Каждый из используемых методов имеет свои преимущества и недостатки. Известно, что

при температуре среды ниже $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ твердение бетона замедляется, а при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже совсем прекращается, и он замерзает. Поэтому необходимо принимать особые меры по утеплению опалубок и открытых бетонных поверхностей или использовать противоморозные и ускоряющие твердение добавки, выдерживая бетон по методу "термос". Здесь этот метод вне конкуренции среди других. Однако, с понижением температуры среды ниже $-5\text{ }^{\circ}\text{C} \div -10\text{ }^{\circ}\text{C}$, требуемая технологическая прочность, при этом способе выдерживания, не достигается и не обеспечивается ускорение темпов работ [4].

Отсюда возникает необходимость прогрева бетона путем применения соответствующих методов термообработки, которые позволяют в зимнее время, не снижая интенсивности производства работ, ускорять общий срок строительства объектов. Способ электродного прогрева доступен для самых различных конструкций и производственных условий. Однако в немассивных конструкциях, к которым относятся несущие каркасы и конструкции зданий, насыщенных арматурой (до 300 кг/м^3), применение этого метода затрудняется из-за возможных электрических замыканий электродов на арматуру и образования деструктивных процессов в бетоне при термообработке. Многие другие методы прогрева бетона, из-за повышенных затрат на электроэнергию и увеличения стоимости, являются тоже мало приемлемыми. Поэтому при проведении ряда исследований и разработок, касающихся производства бетонных работ в зимний период, было установлено, что есть возможность технологического совершенствования метода прогрева с использованием греющих электропроводов и метода прогрева с добавками, которые целесообразно применять и в условиях пониженных температур наружного воздуха от $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ в немассивных конструкциях, насыщенных арматурой [3]. Расчеты сравнены с экспериментально-производственными данными термообработки, в которых учтено влияние притока тепла, выделяемого в результате гидратации цемента, $Q_{\text{г}}$ [2], а также потери за счет испарения и теплопроводности через опалубку в стационарном режиме. В результате многочисленных расчетов тепло- и электротехнических данных и натурных опытов, проведенных с точными инструментальными замерами, определены надежные показатели для проектирования прогрева бетона в монолитных конструкциях, как при подготовке к производству (в ППР), так и в оперативном режиме по ускоренному варианту расчета.

Пытаясь упростить известные методики расчетов и проектирования, моменты экспериментального прогрева отнесены к случаям, когда исключена возможность применения термосных методов при температурах наружного воздуха $-10^{\circ} \div -20^{\circ}\text{C}$. При этом учтен достигнутый технический уровень технологии подачи бетонной смеси.

В результате учета теплопотерь бетонной смесью на нагрев опалубки, арматуры, а также за счет испарения влаги, остывания при укладке и выдерживании бетона в период изотермического прогрева до получения прочности, определены требуемые энергетические мощности для компенсации потерь и прогрева бетона в различных видах основных конструкций [5]. Все это сделано на основе существующих положений, законов теплотехники и сравнений с производственными реальными значениями. Имея такие обобщенные данные, не состав-

ляло большого труда при проектировании определить длину греющего провода и заранее подобрать его мощность.

Размещались провода исходя из конфигурации конструкций, однако шаг их раскладки осуществлялся через 20-25 см. При возможных отклонениях принимались меры регулирования путем изменения напряжения тока на низкой стороне трансформаторов, которые выпускаются в Республике Беларусь с автоматизацией такой возможности.

Продолжительность необходимого прогрева зависит от требуемой прочности бетона на период распалубки и температуры прогрева. Однако при проверках получилось некоторое несовпадение результатов по применяемым и выпускаемым цементам в Республике Беларусь. Частично все это отрегулировано и разработано для зимних условий при возведении монолитных конструкций[4]. Например, для рассматриваемой плиты перекрытия достижение 70 % прочности бетона, как в практическом исполнении, так и расчетном, определилось продолжительностью прогрева в 32 часа с невысокими расходами электроэнергии.

Учитывая общую сложность определения всех параметров для этого, принят процесс их моделирования и целесообразность создания модели электронной таблицы "Excel", как наиболее простой и доступной для всех категорий работников строительных организаций. Это успешно внедрено в практику проектирования в строительных организациях Министерства архитектуры строительства Республики Беларусь.

В существующих методиках не учитываются сложность и высокая трудоемкость теплотехнических, температурно-прочностных и электротехнических расчетов при моделировании поведения бетона несущих конструкций. При этом недостаточно оправдан традиционный для таких ситуаций подход типового проектирования, поскольку типовые технологические карты не в состоянии учесть всего реального многообразия условий. Практически все расчёты основываются на использовании уравнения теплового баланса, как на стадии подъёма температуры, так и на стадии прогрева. Большим недостатком применяющихся методов расчёта режимов тепловой обработки монолитных конструкций является то, что в их основе лежит стационарный тепловой режим. В то же время все процессы, особенно в период подъёма температуры, явно нестационарные.

Отдельные попытки рассматривать данный процесс как нестационарный для определения зависимости температуры от продолжительности её подъёма для любой точки конструкции дали положительные результаты, но широкого практического использования в построечных условиях в доступной информации не отмечено. Не получили распространения работы по регулированию процесса тепловой обработки по возмущениям, когда в качестве возмущающих факторов принимались температура и скорость движения наружного воздуха, замеряемые специальными приборами. Обработка полученных результатов на компьютере с последующей подачей команд на изменение температуры нагревающих устройств не даёт желаемых результатов, так как и температура, и скорость ветра часто меняют свои значения в очень широких пределах и довольно часто меняет своё фактическое значение коэффициент теплоперехода у наружной поверхности опалубки.

В этих условиях предпочтительными являются способы, основанные на регулировании по отклонениям, когда в качестве критерия, по которому регулятор задаёт значения основных параметров греющих устройств, является динамика изменения температуры бетонной смеси с одновременным контролем прочностных характеристик бетона. Динамика изменения во времени всех основных параметров твердеющего бетона может быть определена в автоматизированном режиме путём создания и реализации соответствующей модели. В качестве элементов моделируемой системы приняты параметры, прямо или косвенно влияющие на процесс тепловой обработки. Критерий цели – получение к окончанию процесса тепловой обработки бетона, обладающего заданными характеристиками.

В целях ускорения производства работ и сокращения их продолжительности при возведении монолитных конструкций зимой со снижением энергетических затрат на прогрев бетона с использованием ускоряющих добавок, целесообразно создавать “толчок” краткого и невысокого (40 °С) прогрева в начальной стадии с тем, чтобы бетон с добавками надёжно твердел и ускоренно набирал требуемую прочность. При применении бетонов без добавок в среде с температурой ниже -10 ÷ -15 °С целесообразно использовать прогрев греющими электропроводами, что, помимо ускоренного достижения прочности, обеспечивает снижение затрат ресурсов.

По полученным результатам исследований и производства разработана автоматизированная система проектирования режимов прогрева бетона в монолитных конструкциях, возводимых зимой, что успешно внедрено в практику проектирования в строительных организациях Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь.

Последовательность выполнения отдельных операций в компьютерном варианте заключается в нижеследующем:

- определение массивности и поверхности конструкций, на основе которых определяется и площадь поверхностей;
- определяются учетные параметры теплового воздействия на опалубку, арматуру, бетонную смесь и учет экзотермического тепла;
- устанавливаются температура среды и требуемая для прогрева бетона.

Все параметры определяются в расчете на 1 м³ укладываемой бетонной смеси, и расход тепла складывается из алгебраической суммы расходов, упоминаемых в аналитических предыдущих расчетах.

На первом этапе разработано шесть моделей определения режимов тепловой обработки для шести основных разновидностей монолитных конструкций.

Программой предусмотрена последовательность действий по реализации модели прогрева конструкций, в компьютерном исполнении, посредством реализации которой выбирается требуемый вариант электронных таблиц.

Обобщенная методика расчетов, проектирования и производства работ в наших условиях успешно внедрена.

1. Проведена доработка и корректировка данных на упрощенный вариант методических расчетов и проектирования режимов прогрева бетона в монолитных конструкциях, которая успешно осваивается в строительных предприятиях Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь с достижением результатов по сокращению продолжительности работ и расходу энергетических затрат.

2. Представленные научно-методические разработки позволили создать обобщенную модель с использованием электронных таблиц Excel, позволяющую в автоматизированном режиме определять параметры эффективного протекания процессов тепловой обработки монолитных железобетонных конструкций, которая была передана для освоения в проектные организации г. Минска и г. Бреста. Проведенные практические исследования подтвердили эффективность предлагаемой методики расчета и моделирования тепловой обработки бетона в конструкциях. Испытание прочности бетона конструкций неразрушающими методами контроля показали соответствие прогнозируемой прочности бетона, в установленные сроки, и прочности, полученной в результате электропрогрева бетона конструкций. Целесообразно провести дальнейшие исследования по экспериментальному поиску автоматических электро- и теплоэнергетических устройств с разработкой оптимальных схем установки.

3. Определены целесообразность и эффективность использования греющих проводов, обеспечивающих равномерность или концентрацию электрической и тепловой мощности при прогреве бетона в монолитных конструкциях с целью достижения требуемых показателей качества. Установлены характеристики используемых греющих проводов и разработана методика их расчета и размещения.

4. Подготовленные и изданные научно-практические рекомендации по внедрению и эффективному их освоению переданы заинтересованным строительным и проектным организациям, что подтверждается актами передачи и внедрения с экономическим эффектом. Таким образом, получены уточненные показатели и зависимости, касающиеся производства работ, которыми можно пользоваться при расчетах и проектировании, как на стадии подготовки, так и оперативном режиме выполнения прогрева бетона в монолитных конструкциях, что будет способствовать повышению эффективности строительства в дальнейшем.

Литература:

1. Концепция развития строительного комплекса Республики Беларусь на 2011–2020 годы: Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28.10.2010 N 1589.
2. Проектирование технологии термообработки бетона с использованием методов контактного электрообогрева: учебно-методическое пособие для студентов специальности ПГС БНТУ под ред. проф. В.П. Лысова, Минск, 2004. – 56 с.
3. Шифин, С.А. Практика применения греющего провода и технология транспортных сооружений // Технология и качество возводимых монолитных конструкций из бетона / Научные труды ОАО ЦНИИС. 217. – М.: ОАО ЦНИИС. – 2003. – Вып. – С. 216–221.
4. Головнев С.Г. Параметры технологии и качество зимнего бетонирования. Строительство. 1995. – № 5, 6: Известия вузов.
5. Лысов, В.П. Организационно-технологическое совершенствование возведения монолитных конструкций в зимний период, обеспечивающее сокращение сроков строительства и снижение затрат / В.П. Лысов, Н.М. Голубев, Т.В. Кривицкая // Строительная наука и техника – Минск, 2007. № 1., С. 48–54.