

Проблемы зимнего бетонирования и пути их решения

С.В. Леонтьев, П.П. Авдеев, Г.В. Грибков

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Аннотация: На сегодняшний день строительство - одна из динамично развивающихся отраслей промышленности страны. В свою очередь наиболее распространенным конструктивом современных зданий и сооружений является монолитный железобетонный каркас. К преимуществам монолитной технологии строительства относятся: скорость возведения несущих конструкций; возможность сооружения ограждающих конструкций с использованием комбинации различных строительных материалов; архитектурная выразительность зданий и мн.др. Однако, при имеющихся достоинствах монолитного строительства не исключается и ряд проблем, решение которых актуально при стремлении ускорить темпы возведения зданий и повысить качество строительно-монтажных работ. Одной из них является проблема набора прочности бетона в условиях зимнего производства строительно-монтажных работ.

В статье рассмотрены способы производства бетонных работ при отрицательных температурах, выполнена оценка различных методов прогрева, проанализированы основные проблемы, возникающие при зимнем бетонировании с применением греющего провода, а также предложены пути их решения.

Ключевые слова: зимнее бетонирование, способы прогрева бетона, параметры термообработки, моделирование условий прогрева бетона, управление процессом прогрева бетона.

На сегодняшний день основной технологией, используемой при возведении зданий и сооружений, является монолитная технология строительства [1]. Высокая популярность монолитного строительства обусловлена рядом неоспоримых преимуществ данной технологии, таких, как: надежность и долговечность зданий, возводимых из монолитного железобетона; возможность сооружения ограждающих конструкций с использованием комбинации различных строительных и отделочных материалов, что позволяет реализовать разнообразные архитектурные решения; высокие темпы строительства; отсутствие ограничений при планировке квартир. Однако вышеперечисленные достоинства не исключают ряда проблем, решение которых особенно актуально при стремлении к повышению качества монолитных конструкций и увеличению темпов

строительства [2]. Одной из них является проблема набора прочности бетона в условиях зимнего производства работ.

Особенности погодных условий России оказывают значительное влияние на проведение строительных работ в холодное время года. В соответствии с СП 131.13330.2012, продолжительность зимнего периода (отрицательные и знакопеременные температуры окружающей среды) для климатических условий Урала и Поволжья составляет около 5-6 месяцев.

При проведении бетонных работ в зимнее время необходимо создать условия для набора бетоном требуемой (критической) прочности, так как для набора 100% проектной прочности требуются значительные энергозатраты. В случае, если бетон замёрзнет до приобретения им минимально требуемой прочности, то после оттаивания недостижимым становится 100% набор марочной прочности. Это объясняется тем, что свежесуложенная бетонная смесь содержит несвязанную в процессе гидратации портландцемента воду, которая в случае замерзания расширяется и разрывает связи между заполнителем и слабо затвердевшим цементным камнем. Кроме того, из-за раннего замораживания снижается величина сцепления бетона с арматурой.

Исследованию вопросов зимнего бетонирования посвящено немало работ отечественных и зарубежных ученых [3-5]. Наибольший вклад внесли С. Арбеньев, С. А. Миронов, А. Б. А. Крылов, Л. М. Колчеданцев, И. Б. Заседателев, А. В. Лагойда, а также зарубежные ученые А.М. Гинзбург, Ч. Бофан, П. Паулик. Необходимо отметить, что зарубежные исследования по данной тематике менее обширны. Приоритет отечественных ученых в разработке технологии зимнего бетонирования закреплен многочисленными публикациями и техническими решениями [6,7].

Однако, несмотря на наличие большого количества исследований по данной тематике, на практике по-прежнему остаются нерешенными ряд вопросов. В частности, до сих пор нет единого подхода к выбору методики

бетонирования при отрицательных температурах, отсутствуют простые системы контроля и регулирования температуры бетона, недостаточное внимание уделяется моделированию процессов прогрева. Кроме того, существует проблема, связанная с определением реальной прочности бетона в проектном возрасте, а также с контролем прочности бетона при прогреве для определения сроков термообработки, распалубливания и возможности нагружения конструкций.

Существующие нормативные документы, регламентирующие технологию выполнения бетонных конструкций в зимних условиях, рекомендуют осуществлять выбор способа прогрева бетона в монолитных конструкциях в зависимости от их конструктивных особенностей и модуля поверхности охлаждения, который определяется как отношение площади конструкции, подвергаемой охлаждению, к общему объему бетонирования.

Основу современных монолитных зданий и сооружений составляют тонкостенные конструкции (плиты перекрытия, стены, диафрагмы жесткости, колонны), которые имеют модуль поверхности охлаждения $M_n = 6-12$. Для таких конструкций в МДС 12-48.2009 рекомендовано использовать метод электропрогрева бетона с помощью нагревательных проводов, электродов или греющей опалубки.

Электродный метод основан на том, что, заранее смонтированные в теле конструкции стальные электроды, после заполнения опалубки бетонной смесью, подключаются в сеть переменного тока. В результате, при прохождении тока через металлический проводник выделяется тепло, за счёт которого происходит прогрев бетонируемой конструкции. При этом прогрев осуществляется не только за счёт теплопроводности бетона, но и за счёт электропроводности воды и электролитов, входящих в его состав. Исходя из этого, возникает следующая проблема: цемент и часть воды затворения, требуемой для протекания химической реакции твердения портландцемента,

взаимодействуют между собой, формируя прочную структуру бетона, при этом оставшаяся вода затворения, обеспечивающая заданную проектом подвижность бетонной смеси, испаряется, что приводит к увеличению удельного электрического сопротивления бетона. Иными словами, после того как химически несвязанная вода испарилась, происходит перегрев бетона и процесс дальнейшего набора прочности становится затруднительным [6]. Данный факт является основным недостатком электродного способа прогрева железобетонных конструкций.

Также малоэффективным и трудоёмким представляется способ ухода за бетоном монолитных конструкций с помощью обогреваемой опалубки. Непроработанными остаются конструкции таких опалубок, что проявляется в обогреве ими не только поверхности бетонируемой конструкции, но и окружающей среды. В случае применения термоматов, используемых при обогреве монолитных плит с большой площадью открытой поверхности, затруднительным является их раскладка на свежеложенный бетон. Помимо этого, на время работы термоматов приостанавливаются любые действия на бетонируемой конструкции [7].

Наиболее эффективным и универсальным является метод зимнего ухода за бетоном с использованием греющего провода, который закрепляется на арматурный каркас с расчётным шагом ещё до начала производства бетонных работ. Эффективность данного метода заключается в том, что отсутствуют сложности с равномерным распределением проводов, а следовательно, и тепла по всему объёму конструкции, прогрев бетона можно дискретно регулировать сразу после укладки бетонной смеси, что позволяет реализовать внедрение систем автоматизированного контроля и управления температурой бетона монолитных конструкций, тем самым влиять на динамику набора прочности конструкций. При этом решение столь актуальной научно-технической задачи должно быть реализовано с учётом

большого числа факторов, которые могут оказать влияние на процесс обеспечения оптимального режима обогрева железобетонной конструкции.

Однако, несмотря на вышеперечисленные преимущества, данный метод электропрогрева имеет и свои недостатки. Так укладка проводов является достаточно трудоёмким процессом, требующим предварительного расчёта сечения и шага провода. А в случае прогрева конструкций, имеющих большую открытую площадь, требуется подключение нагревательных проводов к более мощному источнику электроэнергии или установка нескольких трансформаторов [8]. Тем не менее, данный метод прогрева является наиболее распространённым в технологии производства строительно-монтажных работ в холодное время года.

При этом общей проблемой любого из вышеперечисленных методов электропрогрева является процесс контроля и регулирования температуры прогрева железобетонной конструкции. Как показывает опыт зимнего бетонирования, слабым звеном в процессе ухода за бетоном является ненадлежащий контроль за параметрами прогрева конструкции. В связи с этим существует риск «пересушивания» бетона при слишком интенсивном прогреве, либо замораживания бетона при преждевременном отключении от питающей сети. На сегодняшний день требования к контролю за соблюдением температурно-влажностных режимов выдерживания монолитных конструкций неоднозначны и необоснованны. В соответствии с СП 70.13330 «Несущие и ограждающие конструкции», число точек измерения температуры в бетонируемых конструкциях должно указываться в проекте производства работ. При этом требования более ранней редакции этого свода правил были практически невыполнимы. Так, имеются требования, при которых один температурный датчик должен устанавливаться на 4 м² перекрытия. Тогда при бетонировании перекрытия в 400 м² требуется установка 100 термомпар. В современных условиях

соблюдение данных требований приведёт к огромным трудозатратам рабочего персонала и увеличению бумажной работы, связанной с заполнением контрольного журнала. Кроме того, покупка большого количества термопар повышает затраты на строительство. Модернизация и усовершенствование подходов в направлении контроля температурного режима ухода за бетоном является одной из главных научно-практической задачей современного строительства [9,10].

Ещё одним актуальным вопросом не только строительства, но и современной экономики, является вопрос сокращения издержек, энерго- и ресурсосбережение [9,11]. Современное производство бетонных работ в любое время года требует высоких темпов их выполнения, обеспечения качества возводимых конструкций, при одновременном условии минимизации трудозатрат и денежных вложений. Решить имеющиеся проблемы электропрогрева железобетонных конструкций, повысить эффективность строительно-монтажных работ, а также снизить расход электроэнергии позволит разработка и внедрение современных систем управления параметрами электропрогрева бетона. Такие системы должны разрабатываться с учётом анализа результатов исследований и наблюдений за динамикой формирования прочности бетона конструкций с учётом факторов, оказывающих существенное влияние на протекание данного процесса.

К таким факторам относятся: температура воздуха, скорость ветрового потока (оказывает влияние на скорость охлаждения конструкции), форма и размеры конструкции, время выдерживания конструкции в опалубке, теплопроводность бетона, параметры электропрогрева (напряжение, устанавливаемое на трансформаторе), диаметр греющего провода.

Для того, чтобы определить зависимость и степень влияния каждого из факторов на динамику набора прочности бетона конструкций необходимо

применять методики компьютерного моделирования процесса электропрогрева железобетонных конструкций.

Использование современных компьютерных программ позволяет не только решать, моделировать и визуализировать любые теплотехнические и электрофизические процессы, протекающие в железобетонных конструкциях в ходе электропрогрева, но и осуществлять определение оптимальных значений параметров прогрева бетона в зависимости от любых внешних условий воздействия на процесс. Эффективным инструментом анализа изменения температуры бетона по построенным моделям является программный комплекс ELCUT с дополнительной надстройкой WinConcrete [12]. Возможность использования программного комплекса в качестве эффективного инструмента для определения сечения нагревательных элементов, обоснования параметров электропрогрева и раскладки проводов, а также сравнение полученных данных с результатами натурных исследований, имеет научный потенциал и практическое применение. По результатам анализа, полученных в ходе моделирования данных, могут быть определены значения прочности бетона в различные временные отрезки в зависимости от заданных параметров модели. Эти значения могут быть использованы в качестве данных для построения математических моделей зависимостей параметров электропрогрева от внешних факторов, которые в свою очередь послужат основой для создания системы управления параметрами ухода за бетоном монолитных железобетонных конструкций.

Обобщая вышесказанное, можно отметить тот факт, что наиболее эффективным методом ухода за бетоном тонкостенных монолитных железобетонных конструкций жилых домов в условиях зимнего производства строительно-монтажных работ является электропрогрев с использованием греющего провода. Однако, несмотря на его эффективность, остаются нерешенными задачи, связанные с обоснованием оптимальных

режимов тепловой обработки монолитных железобетонных конструкций, которые учитывали бы такие факторы, как условия окружающей среды, характеристики возводимой конструкции, интенсивность выполнения строительно-монтажных работ, а также свойства ограждений и нагревательных элементов. Решением данных проблем может стать разработка и внедрение современных систем управления режимами тепловой обработки бетона железобетонных монолитных конструкций при отрицательных температурах окружающей среды, что является перспективой для будущих исследований авторов.

Литература

1. Крылов Б.А. Монолитное строительство, его состояние и перспективы совершенствования // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2012. № 4 (159). С. 35-38.
2. Головнев С. Г. Зимнее бетонирование: этапы становления и развития // Вестник Волгогр. гос. архит.- строит. ун-та. 2013. № 31(50). С. 529-534.
3. Куракова О.А., Галаев М.У. Применение новых технологий зимнего бетонирования в современном строительстве // Экономика и предпринимательство. 2012. №6 (95). С. 1073-1075.
4. Zhu Bofang. Temperature Control of Concrete Dam in Cold Region //Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete. 2014. №6 (78). pp. 431-438.
5. Peter Paulik. The Effect of Curing Conditions (In Situ vs. Laboratory) on Compressive Strength Development of High Strehghth Concrete // Procedia Engineering. 2013. №34 (156). pp. 113-119.
6. Красновский Б.М. Инженерно-физические основы методов зимнего бетонирования. М.: Изд-во ГАСИС, 2007. 512 с.

7. Золотухин С.Н., Горюшкин А.Н. Бетонирование при отрицательных температурах // Научный вестник ВГАСУ. Серия: Высокие технологии. Экология. 2012. №1. С.81-85.
8. Корытов Ю.А. Зимнее бетонирование с применением нагревательных проводов // Механизация строительства. 2010. № 3 (789). С. 14-20.
9. Куц Е.В., Кадокова С.Ю., Андреев А.А. Оптимизационное моделирование энергосберегающего проекта // Инженерный вестник Дона, 2021, №12. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n12y2021/7358/.
10. Алексанин А.В. Влияние информационных технологий на возможности ресурсосбережения в строительстве // Инженерный вестник Дона, 2021, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2021/6807/.
11. Журов Н. Н., Комиссаров С. В. Система температурно-прочностного контроля бетона в раннем возрасте // Вестник МГСУ. 2010. №4. С.296-301.
12. Зиневич Л.В. Применение численного моделирования при проектировании технологии обогрева и выдерживания бетона монолитных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2011. №2 (20). С. 24-28.

References

1. Krylov B.A. Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka. 2012. № 4 (159). pp. 35-38.
2. Golovnev S. G. Vestnik Volgogr. gos. arkh.- stroit. un-ta.. 2013. № 31(50). pp. 529-534.
3. Kurakova O.A., Galaev M.U. Ekonomika i predprinimatel'stvo. 2012. №6 (95). pp. 1073-1075.
4. Zhu Bofang. Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete. 2014. №6 (78). pp. 431-438.
5. Peter Paulik. Procedia Engineering. 2013. №34 (156). pp. 113-119.
6. Krasnovskiy B.M. Inzhenerno-fizicheskie osnovy metodov zimnego betonirovaniya. M.: Izd-vo GASIS, 2007. 512 p.



7. Zolotuhin S.N., Gorjushkin A.N. Nauchnyj vestnik VGASU. Serija: Vysokie tehnologii. Jekologija. 2012. №1. pp. 81-85.
8. Korytov Yu.A. Mekhanizatsiya stroitel'stva. 2010. № 3 (789). pp. 14-20.
9. Kuc E.V., Kadokova S.Ju., Andreenko A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №12. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n12y2021/7358/.
10. Aleksanin A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2021/6807/.
11. Zhurov N.N., Komissarov S.V. Vestnik MGSU. 2010. №4. pp. 296-301.
12. Zinevich L.V. Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2011. №2 (20). pp. 24-28.