

к указанному сроку промышленность уверенно войдёт в новое русло и сможет с успехом воплотить в жизнь отечественные технологии с использованием российского оборудования.

Список использованных источников

1. Патент РФ RU 2645185 C1, 21.03.2017. Способ сжижения природного газа по циклу высокого давления с предохлаждением этаном и переохлаждением азотом "арктический каскад" и установка для его осуществления // Патент России RU 2645185 C1. / Руденко С.В., Васин О.Е., Грицишин Д.Н., Соболев Е.И., Минигулов Р.И.
2. Мещерин И.В. Анализ технологий получения сжиженного природного газа в условиях арктического климата / Мещерин И.В., Настин А.Н. – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2016. – 14 с.
3. Сжиженный природный газ [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org>. – Сжиженный природный газ. – (Дата обращения 15.10.2018).
4. Сжиженный природный газ в мире и России: текущее состояние и перспективы развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vostockcapital.com>. – Сжиженный природный газ в мире и России: текущее состояние и перспективы развития. – (Дата обращения 16.10.2018).
5. Пресс-служба АО «ОКБМ Африкантов». На базе АО «ОКБМ Африкантов» обсудили локализацию технологий в Нижегородской области для российских СПГ-проектов. Пресс-релиз. 05.09.2018.
6. Пресс-служба ПАО «Новатэк». «НОВАТЭК» запатентовал собственную технологию сжижения природного газа «Арктический каскад». Пресс-релиз. 21.03.2018.

УДК 693.547.32

ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОНИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА МЕРЗЛОМ ОСНОВАНИИ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

Иванов Д.А., Молодин В.В.

Новосибирский Государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Введение. На сегодняшний день нормативные и технические документы при проектировании технологии зимнего бетонирования в полной мере не учитывают процессы внутреннего массопереноса в бетоне. Распределение влажности принимается равномерным, без учета возможного появления переувлажненных слоев монолитных конструкций.

Однако возникает противоречие при производстве бетонных работ, когда свежеуложенный бетон примыкает к ранее забетонированным и успевшим промерзнуть конструкциям. В этой ситуации можно наблюдать потемнение переохлажденных слоев бетона, вызванное повышением влажности в связи с возникновением внутреннего массопереноса (рис. 1).



Рисунок 1 – Примеры потемнений переохлажденных слоев бетона, вызванные их переувлажнением

Это объясняется тем, что при возобновлении бетонирования, на контакте «старого» охлажденного бетона с «новым», появляется значительный температурный градиент, под действием которого формируется градиент влажности. Влага мигрирует по порам и капиллярам из теплых в более холодные слои бетона за счет возникновения пониженного парциаль-

ного давления в зонах низких температур [1, 2]. Появление переувлажненных слоев бетона в местах контакта конструкций может привести к опасным последствиям [3, 4].

Методика проведения эксперимента. Для подтверждения теоретических выводов и оценки основных параметров процесса внутреннего массопереноса было проведено экспериментальное бетонирование каркасной конструкции. Конструкция представляла собой стык из фрагментов промерзшего перекрытия и свежееуложенной колонны, которую прогревали греющим проводом (рис. 2).

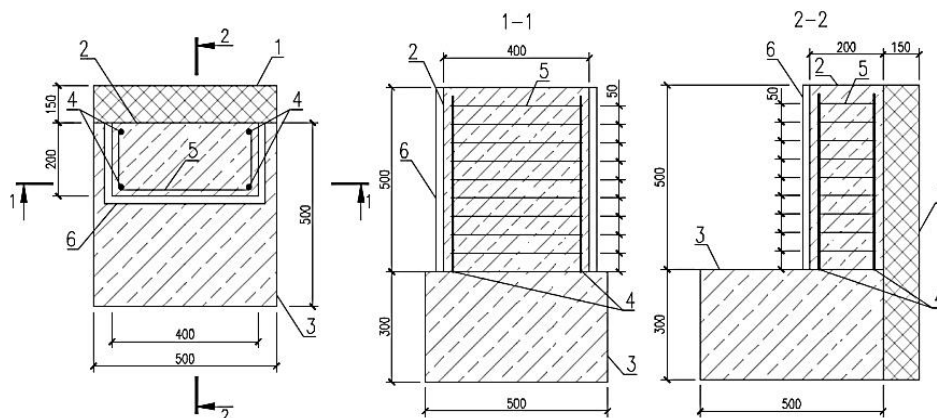


Рисунок 2 – Схема фрагмента колонны и основания: 1 – утеплитель, 2 – колонна, 3 – основание, 4 – арматурные стержни, 5 – греющий провод, 6 – опалубка

Температура воздуха в сертифицированной климатической камере во время охлаждения основания и в процессе выдерживания составляла -30°C . В качестве датчиков температуры использовались хромель-копелевые термодары. Процесс миграции влаги исследовали при помощи ее зависимости от электрического сопротивления бетонной смеси, которое было измерено с помощью датчиков, изготовленных из двухжильного медного провода [5].

Обсуждение результатов эксперимента

1. Начальный период выдерживания. Влажностное поле в бетоне фрагмента колонны в начальный момент времени было относительно равномерно (рис. 3), а именно:

- влажность на стыке, в центре колонны имела наибольшее значение $\approx 3\%$, и незначительно уменьшалась с высотой;
- на расстоянии между 25 и 75 мм от границы стыка $\approx 1\text{--}2\%$;
- влажность среднего слоя $\approx 2\text{--}2,5\%$;
- влажность верхнего слоя $\approx 1,5\text{--}2,5\%$.

2. Период выдерживания. Максимальные значения наблюдались на периферии сечения и в области границы стыка колонны и промерзшего основания, так как процесс внутреннего массопереноса влаги способствовал ее переносу в более холодные области бетона (щиты опалубки и основание).

3. Завершающий период эксперимента. По окончании эксперимента (рис. 3), наибольшие изменения влажности бетона, не считая верхней части фрагмента колонны, наблюдались на высоте колонны от 0 до 75 мм, куда влага за счет массопереноса мигрировала из бетона верхней и средней части. Влага распределилась следующим образом:

- наименьшее значение оказалось в верхней части $\approx 1,5\text{--}2,5\%$;
- влажность среднего слоя $\approx 1,5\text{--}3\%$;
- на высоте колонны от 25 до 75 мм зафиксировано еще большее значение влажности бетона фрагмента колонны $\approx 2,5\text{--}4,5\%$;
- в стыке колонны и основания влажность бетона оказалась максимальной $\approx 6\%$.

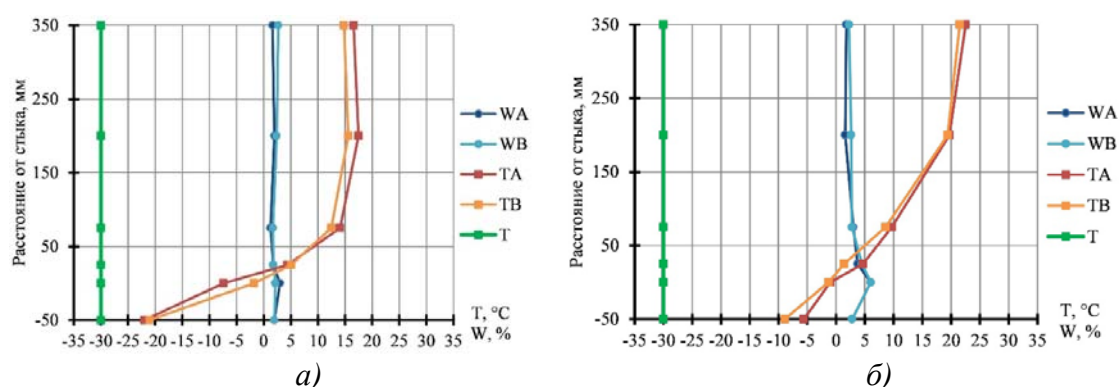


Рисунок 3 – Распределение температуры и влажности по высоте конструкции в начале (а) и в конце (б) эксперимента: *WA*, *TA*, *WB*, *TB* – влажность и температура в центре и на периферии сечения колонны, *T* – температура в климатической камере

4. *Влияние изменения влажности бетона на его прочность.* Гусаков А.М. в своей работе [3] привел зависимость прочности бетона от водоцементного отношения. Из нее следует, что увеличение водоцементного отношения переувлажненных слоев бетона в 1,4 раза, уменьшает их прочность на 30 %. В нашем случае охлажденные слои бетона, переувлажнились в 2 раза в центре и в 2,5 раза в периферии сечения колонны, относительно исходной влажности. Основываясь на [3], выводится пропорция, по которой прочность охлажденного бетона на расстоянии до 25 мм от границы стыка, по высоте колонны, уменьшилась приблизительно на $\approx 45-55$ % по всему сечению, относительно ожидаемой прочности, полученной при бетонировании конструкции без влияния промерзшего основания.

Решение проблемы. Результаты экспериментального исследования процесса внутреннего массопереноса, позволили доказать наличие и оценить основные параметры этого процесса.

В существующей на сегодняшний день производственной практике известен способ решения проблемы переувлажнения промерзших слоев бетона. Это традиционный прогрев греющими проводами, когда каждый тип конструкций прогревается независимой группой проводов: на этапе возведения колонн прогреваются только колонны, при возведении перекрытий – только перекрытия и т.д. Недостатком этого устройства является сток тепла через нижерасположенные конструкции, которые выступают в качестве мостиков холода.

Для решения данной проблемы была разработана более эффективная технология, предназначенная для электропрогрева стыка колонн и перекрытия. В теле перекрытия установлены основной и дополнительный греющий провод. Они формируют независимые друг от друга нагревательные элементы – общий нагревательный элемент, исключая площадь колонн, и нагревательный элемент для прогрева площади перекрытия в створе колонн (рис. 4).

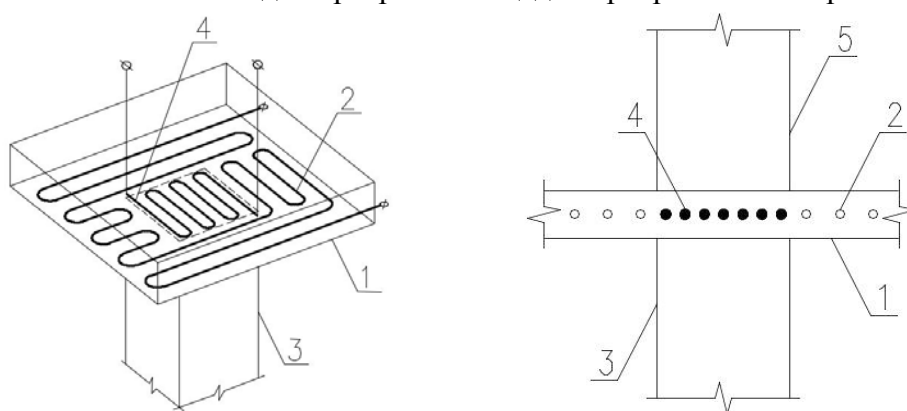


Рисунок 4 – Устройство для электропрогрева стыка колонн и перекрытия: *1* – плита перекрытия, *2* – нагревательный элемент на всю площадь перекрытия, исключая площадь колонны, *3* – нижняя колонна, *4* – нагревательный элемент на площадь колонны, *5* – верхняя колонна

Устройство позволяет в условиях отрицательных температур исключить неравномерное распределение влаги и прочностных характеристик во время прогрева как плиты перекрытия, так и вышерасположенной колонны.

При прогреве плиты перекрытия к электрической сети подключаются оба греющих провода, причём на дополнительный провод подаётся большая электрическая мощность, что позволяет не допустить охлаждения плиты перекрытия через нижерасположенную колонну, которая выступает в качестве мостика холода.

При бетонировании вышерасположенной колонны, одновременно с ее прогревом включается дополнительный греющий провод, который не допускает охлаждения колонны через плиту перекрытия.

В отличие от стандартной технологии, разработанное решение позволяет полностью нейтрализовать сток тепла через нижерасположенные конструкции. Преимуществом при прогреве плиты перекрытия является возможность увеличить мощность тока, подаваемого на дополнительный греющий провод независимо от основного. В свою очередь, преимуществом при прогреве вышерасположенной колонны является снижение потребления электрической энергии, и, следовательно, экономии денежных средств. Так как в отличие от стандартной технологии нет необходимости прогревать всю площадь плиты перекрытия.

Потенциальными потребителями являются все строительные компании, работающие в регионах с низкими отрицательными температурами (включая Арктический регион). Ежегодный объём монолитного строительства в данных регионах РФ достигает 12,5 млн м³. Распространение будет проходить в виде технологических карт с расчётным обоснованием. Каналами распространения будут являться саморегулируемые строительные организации и ассоциации строителей.

Стоит отметить, что на данное технологическое решение была подана заявка на патент (рег. №2018113354 от 12.04.2018), после получения которого планируется выполнить экспериментальную проверку непосредственно на строительном производстве.

Выводы. Результаты экспериментального исследования процесса внутреннего массопереноса, позволили доказать наличие и оценить основные параметры этого процесса. Из полученных данных следует, что процесс внутреннего массопереноса, возникающий при бетонировании строительных конструкций в условиях отрицательных температур, следует учитывать при технологическом проектировании и в процессе выполнения работ.

В свою очередь, разработанное техническое решение обеспечивает гарантированное качество монолитных железобетонных конструкций в регионах с низкими отрицательными температурами в отличие от стандартной технологии.

Список использованных источников

1. Гныря А.И. Технология бетонных работ в зимних условиях / А.И. Гныря, С.В. Коробков. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2011 – 412 с.
2. Бржанов Р.Т. Проблемы выбора методов зимнего бетонирования / Вестник ПГУ № 2, 2009 – с. 14-33.
3. Гусаков А.М. Процессы внутреннего массопереноса в бетоне на ранней стадии выдерживания в технологии зимнего бетонирования: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук – Томск, 2006.
4. Дажанов Н.Т., Аруова Л.Б. Тепло- и массообмен при различных технологиях гелиотермообработки железобетона / Вестник МГСУ №4, 2011 – с.288-292.
5. Гендин В.Я., Мягков А.Д., Гончаров Л.С. Кондуктометрический метод исследования массопереноса в стыках для выбора вида и количества противоморозной добавки при замоноличивании в зимних условиях. Тепло- и массоперенос в процессах твердения материалов на основе вяжущих веществ: Сборник статей – Томск: ТГУ, 1985. – 129 с.