УДК 693.55

© В. В. Павлов, канд. техн. наук, доцент

© Е. В. Хорьков, ассистент

(Казанский государственный архитектурно-строительный университет)

E-mail: newtura@mail.ru, evg-ne@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-1-83-87

© V. V. Pavlov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© E. V. Khor'kov, assistant lecturer

(Kazan State University of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: newtura@mail.ru, evg-ne@mail.ru

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЧНОСТИ СТЫКА «КОЛОННА – ПЕРЕКРЫТИЕ» МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ЗИМНЕМ БЕТОНИРОВАНИИ

ENSURING THE STRENGTH OF THE «COLUMN – SLAB» JOINT IN CAST-IN-SITU REINFORCED CONCRETE STRUCTURES AT WINTER CONCRETING

Рассматриваются результаты теоретических разработок по прогреву бетона в стыке «колонна — перекрытие», обеспечивающих нормативный температурный режим при твердении бетона конструкций. По результатам исследований выполнены расчеты и предложен метод прогрева, позволяющий исключить возникновение «мостиков холода» и обеспечить требуемую прочность бетона.

Ключевые слова: монолитный бетон, прогрев, зимнее бетонирование, температурные поля.

The paper considers the results of theoretical developments on the heating of concrete in the «column – slab» joint providing normative temperature regime of hardening concrete structures. According to research results, there have been carried out calculations and proposed a method of heating, allowing preventing the emergence of «bridges of the cold» and providing the required strength of concrete.

Keywords: cast-in-situ reinforced concrete, heating, winter concreting, heating flow patterns.

Строительство зданий и сооружений из монолитного железобетона на сегодняшний день является одним из основных направлений строительной отрасли в нашей стране. Но в этом достаточно изученном строительном процессе встречается ряд проблем, одной из которых является процесс бетонирования конструкций в зимних условиях. Учитывая климатические особенности нашей страны, где в средней полосе отрицательные температуры фиксируются в течение 6–7 месяцев, вопрос производства монолитных железобетонных работ при отрицательных температурах актуален. Теоретические основы зимнего бетонирования, а также их практическая реализация успешно разрабатываются и внедряются в нашей стране и за рубежом на протяжении многих лет, что отражено в [1–12], СП

70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01–87», МДС 12-48.2009 «Зимнее бетонирование с применением нагревательных проводов» (М.: ЗАО «ЦНИИОМТП», 2009) и др.

Согласно требованиям и указаниям вышеперечисленных источников, общие принципы обеспечения качества зимнего бетонирования сводятся к выполнению следующих условий:

- вода в твердеющей бетонной или железобетонной конструкции не должна замерзать;
- для обеспечения нормального протекания химической реакции по твердению цементного камня температура воды должна быть не менее +5 °С;
- скорость набора бетоном прочности пропорциональна повышению его температуры;

- не допускается высыхание поверхности бетона при его нагреве.

Предпосылками к нижеприведенным исследованиям явилось наблюдение за контролем качества выполнения монолитных железобетонных работ при возведении элементов каркаса многоэтажного многоквартирного жилого дома в г. Нижнекамске, выполненное авторами статьи, материалы которого были опубликованы в [13]. При контроле температурного режима прогрева монолитного бетона, уложенного в конструкцию плиты перекрытия и колонны, с использованием лазерного измерителя температуры (пирометра) были получены результаты, свидетельствующие о значительной разнице температуры бетона плиты перекрытия в ее пролетной и опорных частях, а также низких температурных значениях в основании колонн. По результатам проведенных замеров в пролетной части плиты среднее значение температуры составило около $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в части плиты перекрытия, расположенной над колонной, минимальное значение температуры было зафиксировано $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 1). При определении температуры колонны было отмечено значение температуры около $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 2). При таких температурах требования СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01–87» не выполняются. Также необходимо отметить, что эти значения были получены при следующих условиях: температура окружающего воздуха около $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, уложенный бетон плиты перекрытия находился в опалубке около 5–6 ч, а колонны — около 3–4 ч. Подогрев бетона осуществлялся с использованием нагревательных проводов типа ПНСВ 1,2. Укрытие поверхности бетона плиты перекрытия в целях снижения теплопотерь с поверхности прогреваемой конструкции плиты перекрытия выполнялось укрывным материалом «Дорнит». Для прогрева бетона использовался трансформатор КТП-80. Учитывая полученные данные, сформировалось предположение о том, что неравномерное распределение температур в прогреваемой плите перекрытия и колонне связано с влиянием на них холодных потоков, проникающих в плиту через «мостик холода», образованный колонной или какой-либо другой вертикальной конструкцией (стены, пилястры),

Рис. 1. Значения температуры бетона плиты перекрытия, полученные при контроле прогрева конструкции в зимних построечных условиях

смежной с плитой перекрытия, а в колонну — через нижерасположенную плиту перекрытия.

Учитывая особенности работы конструкции плиты перекрытия и действия на нее в зоне опирания как изгибающего опорного момента, так и усилия продавливания, обеспечение нормативных условий твердения бетона крайне важно. Соблюдение этого условия необходимо и для колонн, испытывающих значительные сжимающие усилия. В целях исключения вышеуказанных

Рис. 2. Значения температуры бетона основания колонны, полученные при контроле прогрева конструкции в зимних построечных условиях

негативных воздействий, для предотвращения образования «мостиков холода» в рассматриваемом стыке «колонна — плита перекрытия» предложены конструктивно-технологические мероприятия, рассмотренные в [13]. Суть их сводится к тому, что в колонне греющий провод разделяется на две части, одна из которых (расположенная в верхней части колонны) включается повторно при прогреве перекрытия [14], что позволяет предотвратить проникновение холодных потоков в конструкцию плиты перекрытия.

Изучение предложенного конструктивно-технологического решения позволило выдвинуть предположение, что определение его численных параметров возможно с использованием методов, относящихся к области строительной теплофизики. Решение аналогичной задачи — теплопередача через «тонкое ребро» — предложено в [15], данная методика и была принята в дальнейших расчетах.

Для формирования расчетной схемы представим рассматриваемую колонну как «тонкое ребро», ширина которого равна ширине сечения колонны, с высотой, равной высоте ее сечения. Также зададимся условием, что тепло, поступающее от греющего провода, передается бетону по тем же законам, что и тепло от окружающего воздуха. Полученная расчетная схема, сформиро-

Зависимость температуры в бетоне плиты перекрытия от высоты зоны дополнительного прогрева

Высота зоны дополнительного прогрева колонны x , м	Температура бетона плиты перекрытия в зоне контакта с колонной t_x , °C
0	-20,00
0,01	-16,37
0,02	-12,92
0,03	-9,65
0,04	-6,55
0,05	-3,62
0,06	-0,83
0,07	1,81
0,08	4,31
0,09	6,68
0,1	8,93
0,11	11,06
0,12	13,08
0,13	15,00
0,14	16,82
0,15	18,54
0,16	20,17
0,17	21,72
0,18	23,19
0,19	24,58
0,2	25,90

Рис. 3. Расчетная схема оголовка колонны: α — коэффициент теплообмена на поверхности колонны; b — ширина сечения колонны; x — расстояние от холодного торца до расчетной точки; dx — толщина элементарного слоя; Q_x — поток тепла по оси колонны; t_n — температура наружного воздуха; t_b — температура прогрева бетона

ванная для расчета по методу теплопередачи через «тонкое ребро», приведена на рис. 3.

Расчеты, выполненные по методике [15], позволили определить зависимость распределения температуры в бетоне от величины дополнительно прогреваемой области оголовка колонны. Полученные результаты представлены в таблице.

Из представленной таблицы видно, что уже при высоте прогреваемой части колонны 9 см в бетоне плиты перекрытия фиксируется положительная температура около 7 °C, которая допустима по СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01–87».

Для подтверждения выполненных расчетов в дальнейшем предполагается проведение комплекса численных исследований по распределению тепловых потоков в конструкции узла «колонна — плита перекрытия».

Библиографический список

1. Свинцов А. П., Николенко Ю. В., Курилкин В. В. Тепловая обработка бетонной смеси в монолитных конструкциях // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 1. С. 15–19.
2. Сулейманов Х. А. О. Особенности бетонирования в зимних условиях // Результаты современных научных исследований и разработок: сб. тр. III Междунар. науч.-практ. конф. Пенза: Наука и просвещение, 2017. С. 82–84.
3. Попов Ю. А., Молодин В. В., Лунев Ю. В., Суханов А. С. Энергосберегающая и щадящая технология зимнего бетонирования строительных конструкций // Известия высших учебных заведений. 2012. № 2. С. 122.
4. Сысоев А. К. Технология зимнего бетонирования с помощью гибких нагревательных элементов // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4. С. 279.
5. Имайкин Д. Г., Ибрагимов Р. А., Мартынов М. М., Сунгатуллина А. Р. Технологии зимнего бетонирования строительных конструкций с применением термоактивной опалубки // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 24. С. 96–98.
6. Имайкин Д. Г., Ибрагимов Р. А., Сунгатуллина А. Р. Технология зимнего бетонирования с применением термоактивной опалубки // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2015. № 5. С. 87–90.
7. Бикенов А. М., Ибрагимов Р. А. Технология зимнего бетонирования с противоморозными добавками // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2015. № 5. С. 55–57.
8. Шелехов И. Ю., Смирнов Е. И., Инноземцев В. П. Применение новых технологий электрического нагрева в процессе зимнего бетонирования // Новая наука: Проблемы и перспективы. 2015. № 6. С. 200–205.
9. Грязина М. В., Минаков Ю. А. Технология зимнего бетонирования методом обогрева с применением комбинированных противоморозных добавок // Научному прогрессу — творчество молодых: Междунар. молодежная науч. конф. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. С. 198–199.
10. Гнам П. А., Кивихарью Р. К. Технологии зимнего бетонирования в России // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 9 (48). С. 7–25.
11. Прокопьева А. Ю., Никонова И. О. Особенности технологии бетонирования в зимний период // Вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения: междунар. науч.-практ. конф. № 2. Екатеринбург: Инновационный центр развития образования и науки, 2015. С. 25–29.
12. Биккенов А. М., Ибрагимов Р. А., Изотов В. С. Технологии зимнего бетонирования с применением

противоморозных добавок // Вестник Казанского технологического университета. 2015. № 9. С. 164–166.

13. Павлов В. В., Багаутдинов А. Р. Влияние электропрогрева на качество бетонных смесей в узлах монолитных железобетонных конструкций // Традиции, тенденции и перспективы в научных исследованиях: IV Межвузовская студенческая науч.-практ. конф. Чистополь: КГИЭА, 2009. С. 48–51.

14. Патент на полезную модель № 97406. Устройство для электропрогрева стыка колонны и перекрытия монолитного железобетонного каркаса / Соколов Б. С., Павлов В. В., Багаутдинов А. Р. ФСИСПиТЗ: 2010.

15. Богословский В. Н. Строительная теплофизика (Теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). М.: Высшая школа, 1982. 416 с.

References

1. Svintsov A. P., Nikolenko Yu. V., Kurilkin V. V. *Teplovaya obrabotka betonnoy smesi v monolitnykh konstruktsiyakh* [Thermal treatment of concrete mix in monolithic structures]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and civil engineering*, 2015, no. 1, pp. 15–19.
2. Suleymanov Kh. A. O. *Osobennosti betonirovaniya v zimnikh usloviyakh* [Features of concreting in winter conditions]. *Trudy III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Penza «Rezultaty sovremennykh nauchnykh issledovaniy i razrabotok»* [Proc. of the III Int. sci.-pract. conf. Penza “Results of modern research and development”]. *Nauka i prosveshchenie – Science and education*, 2017, pp. 82–84.
3. Popov Yu. A., Molodin V. V., Lunev Yu. V., Sukhanov A. S. *Ehnergoberegayushchaya i shchadyashchaya tekhnologiya zimnego betonirovaniya stroitel'nykh konstruktсий* [The energy saving and low impact technology of winter concreting of building constructions]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy – News of higher educational institutions*, 2012, no. 2, p. 122.
4. Sysoev A. K. *Tekhnologiya zimnego betonirovaniya s pomoshch'yu gibkikh nagrevatel'nykh ehlementov* [Technology of winter concreting by means of flexible heating elements]. *Inzhenernyy vestnik Dona – Don Engineering Bulletin*, 2013, no. 4, p. 279.
5. Imaykin D. G., Ibragimov R. A., Martynov M. M., Sungatullina A. R. *Tekhnologii zimnego betonirovaniya stroitel'nykh konstruktсий s primeneniem termoaktivnoy opalubki* [Technologies of winter concreting of building constructions with application of shuttering with heating elements]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta – Bulletin of the Kazan technological university*, 2014, no. 24, pp. 96–98.

6. Imaykin D. G., Ibragimov R. A., Sungatullina A. R. *Tekhnologiya zimnego betonirovaniya s primeneniem termoaktivnoy opalubki* [Technology of winter concreting with application of shuttering with heating elements]. *Resursoehnergoehffektivnye tekhnologii v stroitel'nom komplekse regiona – Resource effective technologies in the construction complex of the region*, 2015, no. 5, pp. 87–90.
7. Bikenov A. M., Ibragimov R. A. *Tekhnologiya zimnego betonirovaniya s protivomoroznymi dobavkami* [Technology of winter concreting with anti-freezing additives]. *Resursoehnergoehffektivnye tekhnologii v stroitel'nom komplekse regiona – Resource effective technologies in the construction complex of the region*, 2015, no. 5, pp. 55–57.
8. Shelekhov I. Yu., Smirnov E. I., Innozemtsev V. P. *Primenenie novykh tekhnologiy ehlektricheskogo nagreva v protsesse zimnego betonirovaniya* [Application of new technologies of electric heating in the course of winter concreting]. *Novaya nauka. Problemy i perspektivy – New science. Problems and prospects*, 2015, no. 6, pp. 200–205.
9. Gryazina M. V., Minakov Yu. A. *Tekhnologiya zimnego betonirovaniya metodom obogreva s primeneniem kombinirovannykh protivomoroznykh dobavok* [Technology of winter concreting by the heating method with the use of the combined anti-freezing additives]. *Mezhdunar. molodezhnaya nauch. konf. Yoshkar-Ola «Nauchnomu progress – tvorchestvo molodykh»* [proc. of the Int. sci. conf. youth “Scientific progress as creativity of young people”]. PSTU Publ., 2013, pp. 198–199.
10. Gnam P. A., Kivikhar'yu R. K. *Tekhnologii zimnego betonirovaniya v Rossii* [Technologies of winter concreting in Russia]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy – Construction of unique buildings and structures*, 2016, no. 9 (48), pp. 7–25.
11. Prokop'eva A. Yu., Nikonova I. O. *Osobennosti tekhnologii betonirovaniya v zimniy period* [Features of technology of concreting during the winter period]. *Trudy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. no. 2. Ekaterinburg «Voprosy sovremennykh tekhnicheskikh nauk: svezhiy vzglyad i novye resheniya»* [Proc. of the Int. sci.-pract. conf. no. 2 “Issues of modern engineering science: new views and new solutions”]. *Innovatsionnyy tsentr razvitiya obrazovaniya i nauki* [Innovative center of development of education and science], 2015, pp. 25–29.
12. Bikenov A. M., Ibragimov R. A., Izotov V. S. *Tekhnologii zimnego betonirovaniya s primeneniem protivomoroznykh dobavok* [Technologies of winter concreting with the use of anti-freezing additives]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta – Bulletin of the Kazan technological university*, 2015, no. 9, pp. 164–166.
13. Pavlov V. V., Bagautdinov A. R. *Vliyanie ehlektroprogreva na kachestvo betonnykh smesey v uzlakh monolitnykh zhelezobetonnykh konstruksiy* [Influence of electric heating on the quality of concrete mixes in the joints of monolithic reinforced concrete designs]. *Trudy IV Mezhvuzovskoy studencheskoy nauch.-prakt. konf. Chistopol' «Traditsii, tendentsii i perspektivy v nauchnykh issledovaniyakh»* [Proc. of the IV Int. students' sci.-pract. conf. Chistopol “Traditions, tendencies and prospects in scientific research”]. KGIEhA Publ., 2009, pp. 48–51.
14. Sokolov B. S., Pavlov V. V., Bagautdinov A. R. *Ustroystvo dlya ehlektroprogreva styka kolonny i perekrytiya monolitnogo zhelezobetonno karkasa* [Providing for electric heating of the joint of a column and a floor slab of the monolithic reinforced concrete framework]. *Patent na poleznuyu model' no. 97406* [Patent on useful model no. 97406]. FSISPiTZ Publ., 2010.
15. Bogoslovskiy V. N. *Stroitel'naya teplofizika (Teplofizicheskie osnovy otopeniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha)* [Thermal physics in construction. (Thermal physical basics of heating, ventilation and air conditioning)]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1982, 416 p.