УДК 693.547.3 DOI: 10.33622/0869-7019.2019.06.51-58

Совершенствование метода зимнего бетонирования с применением нагревательных проводов

Владимир Васильевич ШИШКИН, кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
e-mail: ShishkinVV@mgsu.ru

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337 Москва, Ярославское ш., 26

Аннотация. *Проанализирован многолетний опыт применения метода электрообогрева нагревательными проводами монолитных бетонных и железобетонных конструкций, возводимых в зимних условиях. Этот метод, разработанный автором статьи, занял на стройках доминирующее положение в силу простоты и экономичности в сравнении с массово применявшимся в те годы методом электропрогрева бетона стальными круглыми и полосовыми электродами. Приведены данные по трудоемкости, материальным и энергетическим затратам в сравнении с методом стержневого электропрогрева. Конкретизированы пошаговые технологические операции по подготовительным работам и электрообогреву монолитных конструкций с использованием обширного практического материала, составившего основу для разработки технологического регламента, дополненного целым рядом новых предложений по совершенствованию технологии работ. С целью отработки оптимальных режимов термообработки проведены исследования коэффициента теплопроводности бетона в процессе его обогрева и набора прочности. Представлена методика расчета основных параметров электрообогрева бетона. Для упрощения расчетов разработана номограмма, позволяющая с достаточной точностью в построечных условиях рассчитать необходимые параметры обогрева. Отмечена необходимость заземления остающегося в бетоне нагревательного провода для уменьшения вредного влияния на организм человека магнитных излучений от различных приборов и бытовой техники.*

Ключевые слова: *зимнее бетонирование, электрообогрев бетона, комплектные трансформаторные подстанции, термоактивные гибкие покрытия, технологический регламент, номографический расчет.*

IMPROVEMENT OF THE METHOD OF WINTER CONCRETING WITH THE USE OF HEATING WIRES

Vladimir V. SHISHKIN, e-mail: ShishkinVV@mgsu.ru

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

Abstract. *Long-term experience of application of a method of electric heating by heating wires of the monolithic concrete and reinforced concrete structures erected in winter conditions is analyzed. This method, developed by the author of the article, took a dominant position on the construction sites due to the simplicity and efficiency in comparison with the mass applied in those years, the method of electric heating of concrete with steel round and strip electrodes. The data on labor intensity, material and energy costs in comparison with the method of rod electric heating are presented. Step-by-step technological operations on preparatory works and electric heating of monolithic structures with the use of extensive hands-on material, which formed the basis for the development of technological regulations, supplemented by a number of new proposals to improve the technology of works, are concretized. In order to work out the optimal mode of heat treatment, the studies of the concrete thermal conductivity factor in the process of its heating and strength development were carried out. The method for calculation of the basic parameters of concrete electric heating is presented. For simplification of calculations, for a wide contingent of masters, superintendents and technical personnel, the nomogram , making it possible with sufficient accuracy under the construction conditions to calculate the necessary heating parameters, was developed. The necessity of grounding the heating wire remaining in the concrete to reduce the harmful effect of magnetic radiation from various appliances and household appliances on the human body is noted.*

Key words: *winter concreting, concrete electric heating, warm-up transformer substation, thermo-active flexible coatings, technological regulations, nomographic calculation.*

Введение

Уже почти 40 лет на стройках России широко применяется метод зимнего бетонирования с электрообогревом монолитных бетонных и железобетонных конструкций нагревательными проводами марки ПНСВ 1,2 мм. Этот метод был предложен и разработан в ЦНИИОМТП Госстроя СССР в 1980 г. автором данной статьи [1, 2].

В ходе разработки технологии испытывались нагревательные провода со стальными жилами, с оцинковкой и без нее, диаметром 1,1; 1,2; 1,4; 1,8; 2 и 3 мм, а также провода различных конструкций с жилами из нихрома, константана и других сплавов. Исходя из результатов испыта-

© ШИШКИН В. В., 2019

ний и анализа массово возводимых монолитных конструкций типовых габаритных размеров, оптимальным был признан нагревательный провод со стальной жилой диаметром 1,2 мм.

Новый метод был адаптирован в строительстве взамен широко применявшихся материало- и энергоемких методов электродного прогрева монолитного бетона.

Годовые объемы возведения в зимнее время монолитных конструкций способами электропрогрева в те годы составляли до 50 млн м^3 бетона. Ежегодно на прогрев бетона расходовалось более 4,5 млрд кВт·ч электроэнергии, 220 тыс. т стальной катанки, 20 тыс. т цветных металлов. Дополнительные затраты труда на выполнение работ составляли около 18 тыс.чел-лет.

За эти годы, судя по информации о ежегодных объемах только монолитного домостроения, выпуске кабельными заводами нагревательного провода марки ПНСВ 1,2 мм, были уложены с электрообогревом в зимнее время миллионы кубометров бетона в различные монолитные бетонные и железобетонные конструкции.

Простота, низкие трудовые и материальные затраты (оптовая цена провода в летнее время составляет в среднем около 0,8 р/м, в зимнее — до 1,7 р/м), высокий уровень электробезопасности используемой новой технологии позволили ей занять на стройках доминирующее положение.

Обобщая имеющийся многолетний опыт применения метода [3—10], автор пришел к выводу, что некоторые положения технологии требуют уточнения, что позволит более эффективно использовать его в строительстве. С этой целью автором разработаны поправки к рассматриваемому в статье технологическому регламенту применения метода зимнего бетонирования с использованием нагревательных проводов.

Основная часть

Провода закладывают в монолитные конструкции до укладки в них бетонной смеси. После окончания бетонирования, устройства пароизоляции и утепления открытых бетонных поверхностей нагревательные провода подключают к пониженному трехфазному напряжению от 60 до 90 В на выходе специализированной комплектной трансформаторной подстанции (КТП) типа КТПТО-80-86У1 мощностью 80 кВ·А. Выбор рабочего напряжения зависит от температуры наружного воздуха, которую надо контролировать не менее 2 раз в сутки, днем и ночью. В случае резкого похолодания следует переключить КТП на более высокую ступень напряжения.

Подстанция (вариант в полной комплектации) дополнительно оснащена автоматикой температурного контроля и регулирования режимов обогрева бетона и аварийной сигнализацией. Данная подстанция разработана и изготовляется Минским электротехническим заводом им. В. И. Козлова (МЭТЗ) на протяжении более 30 лет, по техническим требованиям ЦНИИОМТП. Она позволяет в автоматическом режиме проводить термообработку забетонированной монолитной конструкции в заданном температурном режиме, при температуре наружного воздуха до минус 40 °С и ниже и самоотключаться по достижении бетоном заданной прочности. При этом обеспечивается экономия электроэнергии до 30 % в сравнении с неоснащенной такой автоматикой подстанцией.

Провода работают при этом как нагреватели сопротивления. Сущность метода заключается в передаче контактным путем выделяемой проводами теплоты в твердеющий бетон, где она распространяется в основном за счет теплопроводности.

Положительной особенностью обогрева бетона нагревательными проводами является отсутствие разницы электрических потенциалов в самой массе бетона (как это имеет место при электропрогреве электродами), а также на металлических элементах — арматуре, стальных конструкциях здания, контактирующих с бетоном, отсутствуют потери электроэнергии из-за утечки ее во влажный грунт.

Основное требование технологии для обеспечения нормального обогрева бетона нагревательными проводами, закладываемыми в бетон, — это предохранение изоляции от механических повреждений, короткого замыкания токонесущей жилы провода на арматуру, стальную опалубку и другие металлические элементы в процессе их монтажа и укладки бетонной смеси. Нагревательные провода не должны пересекаться или соприкасаться друг с другом. Контактные соединения должны быть герметичными и иметь надежную водо- и теплостойкую изоляцию.

Подключать нагревательные провода под напряжение допускается только после проверки целостности изоляции провода и токонесущей жилы, отсутствия замыкания жилы на арматуру и полной заливки нагревательного провода бетонной смесью. На воздухе не залитые бетонной смесью участки нагревательного провода, находящегося под напряжением, из-за ухудшения теплоотдачи перегреваются. При погонной нагрузке на провод с ПВХ-изоляцией 30—35 Вт/м и при нагрузке 20—25 Вт/м на провод с изоляцией из ПЭТ, изоляция начинает плавиться и оплывает с токонесущей жилы провода. При замыкании на арматуру жила перегорает.

Нагревательные провода, как и электроды из арматуры диаметром 6—8 мм, оставляют в бетоне после его термообработки. Потери стали при этом в среднем составляют на 1 м^3 бетона: электродов — до 16 кг, провода ПНСВ 1,2 мм (в пересчете на сталь) — 0,66 кг.

У нагревательных проводов имеется еще одно неоспоримое преимущество перед электродами — их можно использовать многократно, например, для отогрева и сушки монолитных конструкций из тяжелого бетона (стены, перекрытия) перед отделочными работами, включая гидро- и теплоизоляционные работы в цокольной части зданий, устройство бетонных оснований и цементно-песчаных стяжек под полы и кровли для устройства гидроизоляции. Такой способ позволяет существенно сократить сроки сезонного выполнения данных работ и минимизировать материальные и финансовые затраты.

Перед бетонированием горизонтальных конструкций над нагревательными проводами зачастую укладывают экранирующую стальную сетку с ячейками 50×50 мм и заземляют ее вместе с арматурой. Такую упрощенную конструкцию используют в дальнейшем для удаления наледи на кровлях, отдельных участках дорог, тротуарах, пандусах, пирсах, авто- и авиастоянках, в основном для обеспечения нормальной работы автотранспорта и другой техники, с минимизацией трудозатрат благодаря уменьшению численности рабочих. В то же время целесообразнее применять для этих целей более дорогой и надежный экранированный кабель повышенного качества, обеспеченный гарантиями производителей.

В случае если нагревательные провода и кабель жестко замоноличены в бетоне (или в так называемом цементно-песчаном клее с полимерными добавками), то у них отсутствует степень свободы, и для предотвращения короткого замыкания следует учитывать длину прямолинейных участков уложенного нагревательного кабеля, термические коэффициенты линейного расширения используемых в нем материалов — в токонесущей жиле, электроизоляции, экранирующей оплетке, муфте.

Если расчетом определено критическое несоответствие их фактически общего взаимного линейного удлинения (алюминий, нихром, сталь, фторопласт и др.) на единицу длины, то следует изыскивать компромиссный вариант — изменять конструкцию кабеля, схему раскладки кабеля с устройством релаксирующего слоя, например, из песка или жидкой резины, что оптимально для размещения нагревательного кабеля и обеспечения его длительной безаварийной работы.

Нагревательные провода и кабели разрабатывались по нашим техническим требованиям совместно с ВНИИКП Министерства электротехнической промышленности. Зав. отделом нагревательных проводов и кабелей этого института С. З. Ерухимович организовал массовый выпуск на заводе «Уралкабель», а также на региональных и республиканских кабельных заводах нагревательного провода ПНСВ 1,2 мм (более 500 тыс. км), что позволило обеспечить широкомасштабное внедрение новой технологии зимнего бетонирования на объектах стройкомплекса страны.

Нагревательные провода ПНСВ 1,2 мм разрабатывались конкретно для возведения в зимнее время вертикально расположенных монолитных бетонных и железобетонных строительных конструкций (стены, колонны, пилоны и пр.), характеризующихся меньшими трудозатратами при навивке проводов, чем горизонтальные конструкции.

Для возведения горизонтально расположенных монолитных железобетонных конструкций (перекрытия, дороги, откосы и др.) в ОАО ЦНИИОМТП были разработаны и запущены в производство ТАГП (термоактивные гибкие покрытия), совмещающие в себе функции нагревателя из углеродсодержащего токопроводного материала, пароизоляции и теплоизоляции. По ряду причин их производство было в 1990-х гг. свернуто, несмотря на большой спрос в осваиваемых северных районах страны. Тем не менее нагревательные провода строители, не считаясь с повышенными трудозатратами, повсеместно использовали при возведении различных монолитных конструкций, как вертикальных, так и горизонтально и наклонно расположенных.

Для исправления ситуации институтом было принято решение организовать серийный выпуск усовершенствованной модели ТАГП на поточной индустриальной линии, с тем чтобы удовлетворить в них потребность стройкомплекса.

За прошедшие годы накоплен значительный опыт применения технологии обогрева бетона в зимнее время нагревательными проводами, что позволило автору разработать технологический регламент, соблюдение которого обеспечивает высокое качество различных монолитных бетонных и железобетонных конструкций и минимизирует аварийные ситуации на стройке.

Далее приводятся основные аспекты технологического регламента электрообогрева бетона нагревательными проводами.

1. Нагревательные провода марки ПНСВ со стальной оцинкованной (или без оцинковки) жилой из низкоуглеродистой проволоки диаметром 1,2 мм, в

изоляции из поливинилхлоридного пластика (ПВХ) или модернизированного полиэтилена (ПЭТ) крепят к арматуре стен, колонн по вертикали с внешней стороны монолитных конструкций до монтажа опалубки. Таким образом, провода находятся без провисания в наиболее защищенной зоне от повреждения изоляции — в защитном слое бетона монолитной конструкции, между опалубкой и арматурой.

Для обеспечения между опалубкой и арматурой защитного слоя бетона толщиной не менее 20 мм на арматуру перед установкой опалубки крепят пластмассовые фиксаторы. Это предотвратит соприкосновение с опалубкой и выход нагревательных проводов и арматуры на лицевую сторону монолитной конструкции.

Стальная жила провода должна удовлетворять требованиям ГОСТ 1526, ГОСТ 1668, а нагревательный провод — требованиям ГОСТ 26445. Сопротивление стальной жилы нагревательного провода ПНСВ 1,2 мм при 20 °С постоянному току составляет 140 Ом/км.

2. Электроизоляцию нагревательных проводов характеризуют дешевизна и достаточно нейтральная химическая стойкость в щелочной среде бетонной смеси — до 30 % водного р-ра Ca(OH) или NaOH и в растворах используемых противоморозных добавок — до 20 % р-ра NaCl. Температура размягчения изоляции составляет соответственно для обычного полиэтилена 70°С (модифицированного до 110 °С) и поливинилхлорида 170 °С. Поэтому рекомендуется применять провода с изоляцией из ПВХ для обогрева армированных монолитных конструкций, а провода с изоляцией из ПЭТ — для неармированных. Это обусловлено тем, что при превышении максимально допустимых погонных (линейных, Вт/м) нагрузок на провода изоляция ПЭТ, в отличие от ПВХ, плавится, и перегретая токопроводящая жила может прорезать изоляцию и замкнуть на заземленную арматуру. Другим недостатком является то, что при температуре ниже 10...15 °С провода с изоляцией из ПВХ, в отличие от изоляции из ПЭТ, теряют гибкость («дубеют») и при монтаже могут растрескиваться.

3. Монтаж провода при температуре наружного воздуха ниже минус 15 °С рекомендуется производить с одновременным подогревом бухты провода в стальной утепленной емкости (например в бочке или ящике) с двойным дном, с установленным там электронагревателем (ТЭН или вентилятор с подогревом воздуха), а также биметаллическим термодатчиком — автоматическим выключателем. Конструкцию следует заземлить и целесообразно использовать для отогрева бухты провода до положительной температуры 50...60 °С (пониженное напряжение 42 В от трансформатора типа ТСЗУ, широко используемого на стройках для подключения аварийного освещения захваток прогрева бетона, вибраторов и ручных машин). Непосредственно бухту провода подключать под напряжение запрещается из-за возможного перегрева и порчи изоляции.

4. При более низкой температуре наружного воздуха (до минус 40 °С) рекомендуется применять передвижной минитепляк для рабочих, занятых на подготовительных работах по электрообогреву бетона нагревательными проводами, передвигаемый вдоль арматурного каркаса вертикальной монолитной конструкции вручную. Такой тепляк может быть выполнен из тонкостенных стальных или алюминиевых труб, на колесиках и обтянут брезентом с огнезащитной пропиткой. Обогрев внутреннего объема осуществляется электрическими воздухонагревателями или работающими на жидком топливе. Рабочие дополнительно также могут быть обеспечены электрообогреваемой спецодеждой.

5. При возведении однотипных монолитных конструкций значительной площади (дорожные основания, стены, перекрытия, откосы, подпорные стенки, резервуары, градирни и др.) длину проволочных нагревателей следует назначать кратной ширине, длине или высоте конструкции (или захватки), но не более 5 м. При этом осуществляют непрерывную раскладку провода и делают через расчетное количество петель выводы в верхней части арматурного каркаса.

6. Нет необходимости нарезать нагревательный провод на мерные отрезки. Бухту провода укладывают в бухтодержатель, представляющий собой крестовину из швеллера № 10 размером 500×500 мм, в центре которой перпендикулярно закреплен электро- или газосваркой отрезок трубы диаметром до 150 мм, высотой 400 мм, куда продевают и укладывают бухту с проводом. Можно закрепить бухту провода и горизонтально на барабан. В обоих случаях навивку нагревательного провода на арматурный каркас выполняют непрерывно.

7. Навивку нагревательного провода осуществляет звено из двух рабочих. Один, находящийся внизу, снимает с бухтодержателя витки провода или отматывает их с барабана, расправляет и подает второму рабочему, находящемуся вверху, на стремянке и крепящему провод к арматуре конструкций. Рабочий, находящийся внизу, крепит провод к нижней части арматурного каркаса.

8. Провода навивают на арматуру без сильного натяжения (с усилием до 20—30 Н) и крепят к ней заранее заготовленными от-

резками нагревательного провода в изоляции, полипропиленовым шпагатом, мягкой (отожженной) вязальной стальной проволокой (соблюдая осторожность, чтобы не повредить изоляцию), пластиковыми кабельными стяжками.

9. Расстояние между вертикально расположенными витками нагревательного провода напрямую зависит от шага арматурных стержней, к которым они крепятся (обычно 150—200 мм). Для выравнивания температурного поля обогреваемых монолитных конструкций типа стен толщиной до 300 мм с двухсторонним армированием рекомендуется одну из арматурных сеток сдвинуть вдоль оси на половину шага (расстояние между смежными арматурными стержнями) относительно второй арматурной сетки. Такой прием позволяет вдвое уменьшить расстояние между проекциями проводов на осевую центральную линию в стене и выравнять эпюру температуры поверхности в контактной зоне обогрева.

10. Следует избегать навивки нагревательного провода на арматурные сетки и каркасы по горизонтали. Это не только увеличивает точки крепления провода, но и не обеспечивает его полноценной защиты от обрыва при укладке бетонной смеси и ее вибрировании.

11. Во избежание обгорания изоляции, замыкания и перегорания токопроводящих жил в армированных монолитных конструкциях следует применять тот или иной способ их устранения: на узлы соединения оголенных от изоляции (~ 30 мм) петель нагревательного провода с монтажным проводом следует надевать трубки из ПВХ, термоусаживающегося полиэтилена, устраивать из бетона выводы монтажным алюминиевым проводом с расчетной площадью сечения (обычно 2,5—4 мм^2) либо выводы нагревательного провода из бетона усилить отрезком аналогичного провода с более толстой стальной жилой. Медный провод использовать не рекомендуется из-за его высокой цены и несовместимости в электроконтакте с другими металлами, особенно с алюминием (ГОСТ 9.0005).

Экспериментальные данные установившейся температуры нагрева провода ПНСВ 1,2 мм в неармированном бетоне

Погонная нагрузка на провод, Вт/м	10	15	20	25	30	35	40	50	60
Максимальная установившаяся температура на поверхности провода, °С	50	65	75	85	92	98	103	112	123

12. Коммутацию проволочных нагревателей осуществляют с помощью кабельной разводки или инвентарных секций шинопроводов, выполненных из стальных оцинкованных или алюминиевых полос 40×5 мм, к которым подсоединяют отводы.

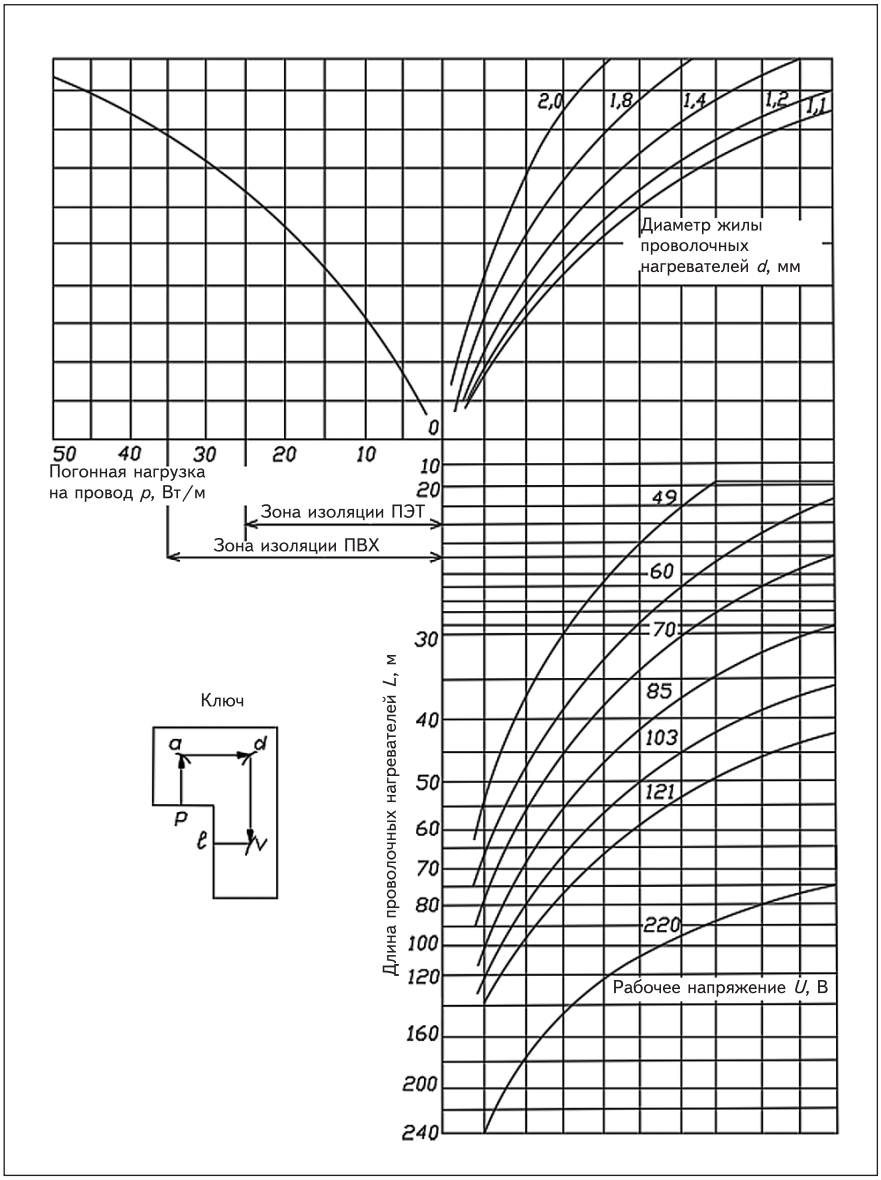
При этом необходимо соблюдать равномерность загрузки фаз питающей электросети с пониженным напряжением от 60 до 90 В от трехфазной трансформаторной подстанции типа КТПТО-80-86У1.

13. Подключать сетевое напряжение 220 В к нагревательным секциям, заложенным в монолитные ответственные несущие конструкции, не рекомендуется, так как отсутствие специализированной прогревочной трансформаторной подстанции исключает возможность автоматического регулирования режимов обогрева бетона, обеспечивающего его высокое качество, усложняет равномерную загрузку фаз общеплощадочной КТП, установленной на стройплощадке и обеспечивающей трехфазным напряжением 380 В строительную технику (башенные краны, грузопассажирские подъемники и пр.), сводит к минимуму электробезопасность работ, приводит к перерасходу электроэнергии.

14. В отдельных случаях, при соответствующем обеспечении условий техники безопасности, для прогрева неответственных бетонных конструкций незначительного объема (подготовка под полы, основания под плодородный грунт в теплицах и т.п.) с устройством заземления из стальной сетки диаметром 3—4 мм, с ячейкой 40—50 мм и автоматического отключения напряжения при входе в обогреваемое помещение или зону обогрева, допускается использование сетевого напряжения 220 В.

В *таблице* приведены экспериментальные данные установившейся температуры нагрева провода ПНСВ 1,2 мм в неармированном бетоне в зависимости от погонной нагрузки.

Экспериментально было установлено, что в армированном бетоне температура нагревательных проводов зависит не только от линейной мощности, но в основном от площади контакта с арматурой, на которой они закреплены. Этот факт позволяет увеличить погонную нагрузку на провод в армированном бетоне в сравнении с приведенными данными в среднем до 20 %, а со стальными арматурными стержнями диаметром более 14 мм, на которых закреплен нагревательный провод, совместно обладающими лучшей, чем бетон, теплопроводностью, температура провода может быть стабилизирована в допустимых пределах при более значительных погонных нагрузках.



Номограмма для определения длины проволочных электронагревателей со стальной токонесущей круглой жилой

Полученный вывод важен с точки зрения возможности увеличения удельной мощности обогрева бетона с обеспечением допустимой температуры на проводе.

Такой вариант термообработки бетона монолитных конструкций может быть применен при условии обеспечения плотного прилегания нагревательного провода к арматуре по всей его длине.

Для изучения физико-химических процессов, протекающих в бетоне, обогреваемом нагревательными проводами, и выработки оптимальных режимов термообработки были проведены обширные исследования [11], результаты которых положены в основу нормативных документов.

Значения коэффициента теплопроводности возрастают с увеличением количества воды затворения. В процессе обогрева, по мере удаления свободной влаги из бетона за счет гидратации цемента и испарения, коэффициент теплопроводности уменьшается. Так, при В/Ц от 0,45 до 0,6 через 1 ч обогрева со скоростью подъема температуры 5 °С/ч, коэффициент теплопроводности составлял от 3,88 до 4,41 Вт/(м·°С). После 12—16 ч обогрева структура твердых фаз и последующие ее изменения имеют одинаковые параметры теплопередачи и уменьшение коэффициента теплопроводности бетона соответствует снижению влагосодержания. После окончания термообработки бетона монолитной конструкции, последующего ухода (обеспечения остывания с заданной скоростью не более 5 °С/ч для монолитных конструкций толщиной 200—300 мм, сушки) коэффициент теплопроводности согласуется с данными других исследователей и справочными данными.

В связи с изложенным нагревательные провода в армированных монолитных конструкциях рекомендуется вначале подключать к КТПТО-80-86У1 на одну ступень выше расчетной, а через 12—16 ч обогрева бетона переключить подстанцию на расчетное напряжение.

Расчет нагревательных проводов не представляет затруднений. Будучи простым активным сопротивлением при пропускании по ним электрического тока они подчиняются законам Ома и Джоуля—Ленца.

Длину проволочных электронагревателей L, м, определяют по формуле

$$L = \sqrt{\frac{U^2 S}{p P_t}},$$

где U — рабочее напряжение питания, В; S — площадь сечения токонесущей жилы, мм^2; p — оптимальная погонная нагрузка на провод, Вт/м; P_t — удельное сопротивление жилы при рабочей температуре, Ом·мм^2/м.

Важным технологическим параметром является равномерность температурного поля на обогреваемой поверхности монолитной конструкции, обеспечиваемая необходимой плотностью укладки нагревательного

провода, или иначе расстоянием (шагом) между смежными витками провода.

Шаг проволочных нагревателей и количество их рядов в защитном слое монолитной конструкции обусловлены требуемой удельной мощностью по расчету.

Шаг проволочных нагревателей b, м, можно определить по формуле

$$b = \frac{1}{\frac{P_{уд}}{p} + 1},$$

где $P_{уд}$ — удельная мощность, Вт/м^2; p — оптимальная погонная нагрузка на провод, Вт/м.

В основном нагревательные провода, закрепленные к арматуре, установленной с шагом от 150 до 200 мм, обеспечивают нормальный температурный режим обогрева монолитных железобетонных конструкций. Однако при резком понижении температуры воздуха до минус 45 °С и ниже в недостаточно утепленной опалубке навитые на арматуру тонкостенных монолитных железобетонных конструкций (толщиной до 150 мм) провода с шагом 100—200 мм могут не обеспечить необходимую мощность и температурный режим обогрева бетона.

Подключение проводов на более высокое напряжение также не сможет решить возникшую проблему и устранить деструктивные процессы в бетоне из-за неравномерности температурного поля и перегрева провода. В этом случае целесообразно расчетом определить необходимую дополнительную удельную электрическую мощность обогрева бетона, увеличить ее за счет уменьшения шага провода, выполнить утепление и устранить продуваемость опалубки, укрыв ее тентом из ПВХ или брезентом. Нагревательный провод при этом можно зафиксировать вязальной проволокой, закрепив ее к арматурному каркасу вертикально или горизонтально в зависимости от вида монолитной конструкции.

Для упрощения расчетов по применению нагревательных проводов с целью обогрева возводимых монолитных бетонных и железобетонных конструкций в зимних условиях автором разработана номограмма *(см. рисунок),* с прилагаемым ключом по ее применению, позволяющая с достаточной точностью в построечных условиях быстро рассчитать необходимые параметры.

После выполнения своей основной функции — создания в бетоне оптимальных температурно-влажностных условий, обеспечивающих высокое качество возводимых монолитных конструкций при отрицательной температуре воздуха, нагревательный провод остается замоноличенным в бетон без дальнейшего использования.

В жилых зданиях, согласно обследованиям различных экологических организаций, наблюдается повышенное электромагнитное облучение проживающих там людей из-за обилия бытовой техники (холодильники, телевизоры, микроволновки и др.), базовых станций сотовой связи, расположенных рядом с жильем, и пр. Электромагнитные поля, накладываясь друг на друга, создают мощное пронизывающее пространство, влияющее на здоровье людей.

Уменьшить или даже устранить вредоносное воздействие магнитных излучений на организм человека можно следующим образом:

- выполнить через надежный контур заземление арматуры монолитных конструкций зданий и сооружений, металлоконструкций различного назначения (что должно, но, как правило, не выполняется на стройках, и это зачастую проходит мимо внимания Госстройнадзора);
- осуществить подключение и заземление через контур всех нагревательных проводов.

Вывод

На основе анализа многолетнего опыта применения метода зимнего бетонирования с использованием нагревательных проводов автор данной методики и этой статьи пришел к выводу, что некоторые ее положения нуждаются в уточнении. С этой целью в статье предлагается алгоритм действий по применению технологии зимнего бетонирования с электрообогревом проводами монолитных бетонных и железобетонных конструкций.

Следует разработать и организовать серийное производство технологической оснастки для зимнего бетонирования: новых автоматизированных трансформаторных подстанций различной мощности с масляным охлаждением, с дистанционной электронной системой управления режимами обогрева монолитного бетона; нагревательных проводов различных конструкций, нагревостойкости и мощности; термоактивных гибких покрытий (ТАГП); термоактивной опалубки; теплоизоляционных матов большой площади и др.

На основании математических расчетов и экспериментальных данных, выполненных автором, подготовлен ряд номограмм для расчета параметров нагревательного провода и режимов обогрева им монолитных бетонных и железобетонных конструкций в зимнее время.

Соблюдение данных рекомендаций позволит более эффективно использовать этот достаточно простой и дешевый способ зимнего бетонирования. Облегчить расчет проводов специалистам поможет номограмма, разработанная автором и приведенная в этой статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шишкин В. В.* Методические рекомендации по применению нагревательных проводов и кабелей при выполнении общестроительных работ в зимних условиях. М. : ЦНИИОМТП, 1985. 88 с.
2. *Шишкин В. В., Мягков А. Д.* Рекомендации по электрообогреву монолитного бетона и железобетона нагревательными проводами. М. : ЦНИИОМТП, 1989. 68 с.
3. *Жадановский Б. В., Синенко С. А., Драган Д. Г.* Эффективность способов выдерживания свежеуложенного бетона при возведении монолитных конструкций // Технология и организация строительного производства. 2014. № 2. С. 38–41.
4. Руководство по производству бетонных работ в зимних условиях, в районах Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера. М. : Стройиздат, 1982. 313 с.
5. *Терентьев О. М., Теличенко В. И., Лапидус А. А.* Технология строительных процессов. Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. 292 с.
6. *Красновский Б. М.* Промышленное и гражданское строительство в задачах с решениями. М. : АСВ, 2018. 1520 с.
7. *Копылов В. Д.* Устройство монолитных бетонных конструкций при отрицательной температуре среды. М. : АСВ, 2014. 184 с.
8. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях. М. : РААСН–НИИЖБ, 2005. 276 с.
9. Авторское свидетельство № 5669. Термоактивный щит опалубки / *Топчий В. Д., Шишкин В. В.* 1977. БИ № 28.
10. Авторское свидетельство № 847526. Гибкий электронагреватель / *Топчий В. Д., Шишкин В. В., Евдокимов Н. Н., Тихеев Б. Б., Галашкова Т. А.* [и др.]. 1981. БИ № 26.
11. *Овсянкин В. И., Топчий В. Д., Евдокимов Н. И., Шишкин В. В., Казаков С. В.* Технология обогрева монолитных железобетонных конструкций в термоактивной опалубке // Второй международный симпозиум по зимнему бетонированию «РИЛЕМ». М. : Стройиздат, 1975. С. 355–367.

REFERENCES

1. Shishkin V. V. *Metodicheskie rekomendacii po primeneniyu nagrevatel'nyh provodov i kabelej pri vypolnenii obshchestroitel'nyh rabot v zimnih usloviyah* [Guidelines for the use of heating wires and cables in the performance of civil works in winter]. Moscow, CNIIOMTP Publ., 1985. 88 p. (In Russian).
2. Shishkin V. V., Myagkov A. D. Rekomendacii po elektroobogrevu monolitnogo betona i zhelezobetona nagrevatel'nymi provodami [Recommendations on electric heating of monolithic concrete and reinforced concrete by heating wires]. Moscow, CNIIOMTP Publ., 1989. 68 p. (In Russian).
3. Zhadanovskij B. V., Sinenko S. A., Dragan D. G. Efficiency of methods of maintaining freshly laid concrete in the construction of monolithic structures. *Tekhnologiya i organizaciya stroitel'nogo proizvodstva*, 2014, no. 2, pp. 38–41. (In Russian).
4. *Rukovodstvo po proizvodstvu betonnyh rabot v zimnih usloviyah, v rajonah Dal'nego Vostoka, Sibiri i Krajnego Severa* [Guidelines for the production of concrete works in winter, in the Far East, Siberia and the Far North]. Moscow, Strojizdat Publ., 1982. 313 p. (In Russian).
5. Terent'ev O. M., Telichenko V. I., Lapidus A. A. *Tekhnologiya stroitel'nyh processov* [Construction process technology]. Rostov-na-Donu, Feniks Publ., 2008. 292 p. (In Russian).
6. Krasnovskij B. M. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo v zadachah s resheniyami* [Industrial and civil engineering in problems with solutions]. Moscow, ASV Publ., 2018. 1520 p. (In Russian).
7. Kopylov V. D. *Ustrojstvo monolitnyh betonnyh konstrukcij pri otricatel'noj temperature sredy* [Device monolithic concrete structures at negative ambient temperature]. Moscow, ASV Publ., 2014. 184 p. (In Russian).
8. *Rukovodstvo po progrevu betona v monolitnyh konstrukciyah* [Guidelines for heating concrete in monolithic structures]. Moscow, RAASN–NIIZHB Publ., 2005. 276 p. (In Russian).
9. Avtorskoe svidetel'stvo no. 5669. *Termoaktivnyj shchit opalubki* [Thermo shield formwork] / Topchij V. D., Shishkin V. V. 1977. BI no. 28. (In Russian).
10. Avtorskoe svidetel'stvo no. 847526. *Gibkij elektronagrevatel'* [Flexible electric heater] / Topchij V. D., Shishkin V. V., Evdokimov N. N., Tiheev B. B., Galashkova T. A. et al. 1981. BI no. 26. (In Russian).
11. Ovsyankin V. I., Topchij V. D., Evdokimov N. I., Shishkin V. V., Kazakov S. V. Technology of heating of monolithic reinforced concrete constructions in the thermoactive casing. *Vtoroj mezhdunarodnyj simpozium po zimnemu betonirovaniyu "RILEM"*. Moscow, Strojizdat Publ., 1975, pp. 355–367. (In Russian).

Для цитирования: *Шишкин В. В.* Совершенствование метода зимнего бетонирования с применением нагревательных проводов // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 6. С. 51–58. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.06.51-58.

For citation: Shishkin V. V. Improvement of the Method of Winter Concreting with the Use of Heating Wires. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2019, no. 6, pp. 51–58. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.06.51-58.