

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ И  
ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**PROSPECTS OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY  
AND ORGANIZATION OF WORKS IN THE CONSTRUCTION COMPLEX OF  
THE REPUBLIC OF BELARUS**

*Кривицкая Т.В.,*

*Брестский государственный технический университет,  
Республика Беларусь*

*Krivitskaya T.V.,*

*Brest state technical university,  
Republic of Belarus*

*Аннотация*

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

*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. Need of introduction of the automated information technologies for the production organizations is reasonable, functionality of new technologies of operational management. 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 work& with a warm-up of concrete heating by electrical wires.*

Проблема увеличения объемов капитального строительства, выдвинутая программой социально-экономического развития Республики Беларусь, связана с задачами совершенствования и повышения интенсивности выполнения основных видов строительно-монтажных работ, например, бетонных и железобетонных, которые особенно в зимних условиях, существенно замедляются, из-за чего нарушается ритмичность производства и увеличивается общая продолжительность строительства [1, 2, 5, 6]. Практически складывается так, что с наступлением холодов и морозов, перед строительными предприятиями, которые осуществляют производство работ по возведению монолитных бетонных и железобетонных конструкций, постоянно возникают задачи по выбору и назначению организационно-технологических методов термообработки бетона, обеспечивающих достижение его прочности в пределах 50 – 70 % от  $f_{c, cube}^G$  [15, 16].

Но из-за того, что существующие методы прогрева обладают рядом недостатков, возникает необходимость поиска и совершенствования технологий, обеспечивающих сокращение сроков строительства, снижение затраты и улучшение качества конструкций.

Известно, что при температуре среды ниже +5 °С твердение бетона замедляется, а при 0 °С и ниже совсем прекращается и он замерзает [13, 10]. Поэтому

необходимо принимать особые меры по утеплению опалубок и открытых бетонных поверхностей или использовать противоморозные и ускоряющие твердение добавки, выдерживая бетон по методу "термос" [12]. Здесь этот метод вне конкуренции среди других. Однако, с понижением температуры среды ниже  $-5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , требуемая технологическая прочность, при этом способе выдерживания не достигается и не обеспечивается ускорение темпов работ. 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 [10].

Способ электродного прогрева доступен для самых различных конструкций и производственных условий [11, 5]. Однако в немассивных конструкциях, к которым относятся несущие каркасы и конструкции зданий, насыщенных арматурой (до  $300\text{--}400 \text{ кг/м}^3$ ), 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 важных 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 [11, 12, 2].

Одним из важных технологических параметров при проектировании режимов прогрева является показатель требуемой мощности, что, безусловно, связано с предстоящими потерями тепла в период укладки и термообработки бетона в опалубке. С этой целью проведены многочисленные эксперименты в производственных условиях при возведении наиболее распространенных конструкций массивностью по модулю поверхности  $M_n = 4\text{--}16 \text{ м}^2$ , предусматриваемых в проектах. Количественные значения исследуемых показателей определялись путем точных замеров современными измерительными приборами. Одновременно проводились теоретические расчеты по потерям тепла бетонной смесью за технологические циклы укладки, выдерживания и  $2^x$ -стадийного прогрева,  $Q_{np}$ , по известным научным положениям теплотехники, рекомендациям по зимнему бетонированию [3, 4, 1].

При этом учитывались:

- потери на нагрев опалубки,  $Q_{on}$ , Дж;
- потери на нагрев арматуры,  $Q_{ap}$ , Дж;
- потери на испарение влаги,  $Q_{вл}$ , Дж;
- потери на теплопередачу в окружающую среду,  $Q_{ном}$ , Дж;
- расход тепла на начальный подъем температуры в уложенном бетоне,  $Q_{нб}$ , Дж;
- расход тепла на поддержание температуры от потерь при изотермическом прогреве,  $Q_{ин}$ , Дж.

Далее эти расчеты сравнивались с экспериментально-производственными данными термообработки, в которых учитывалось влияние притока тепла выделя-

емого в результате гидратации цемента,  $Q_u$  [1, 4], а также потери за счет испарения и теплопроводности через опалубку в стационарном режиме [7].

В результате многочисленных расчетов тепло и –электротехнических данных и натуральных 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. Важным технологическим показателем в организации прогрева является определение реальной продолжительности,  $\tau_{пр}$ , которая обеспечит уверенное достижение 70 % - ой прочности к концу термообработки. В этом плане на основе полученных и расчетных данных, были разработаны графические номограммы по которым можно установить взаимосвязь планируемой прочности с температурными режимами прогрева (30, 40, 50, 60 °С) и требуемой для этого продолжительности в часах. Многочисленные сравнения данных, полученных таким способом, показали, что они совпадают по точности с фактическими. Поэтому его вполне можно использовать при расчетах в ППР и оперативном режиме производства [2, 8, 9]. Это существенно поможет организаторам производства, в оперативном режиме, с достаточной для практических целей точностью, назначать и контролировать реальность получаемых показателей при прогреве греющими электропроводами.

Практическая необходимость в греющих электропроводах должна определяться из требуемой расчетной мощности и, как частный характерный случай, представлен пример прогрева колонны сечением 40 × 40 см высотой 3,0 м, в условиях температуры наружного воздуха -15 °С. Для достижения прочности 70 % от  $f_{c, cube}^G$ , требуемая мощность на подъем температуры до 60 °С составляет 4,5 кВт·ч. На поддержание этой температуры в режиме изотермического прогрева требуется 0,714 кВт·ч. Поэтому расчет греющих проводов проводился только на максимальное значение (4,5 кВт), при этом мощность заложенных греющих проводов с избытком достаточна для изотермического прогрева.

Подаваемый ток с нижней стороны трансформатора с учетом безопасности производства работ принят 60 Вольт. Исходя из особенностей армирования и открытости колонн, было установлено, что температура бетонной смеси после укладки будет составлять +18 °С, а безопасный подъем температуры принят по 7 °С в час. Тогда продолжительность подъема температуры составит:

$$\tau = (60 - 18) / 7 = 6 \text{ часов.}$$

Длина греющих проводов, необходимая для достижения температуры 60 °С, определится из удельной мощности проводов  $p_{уд}$ , например 30 Вт/м, при продолжительности подъема 6 часов и составит:

$$l_{пр} = P_{об} / p_{уд} \cdot \tau_{под} = 4500 / 30 \cdot 6 = 25 \text{ м.}$$

Учитывая, что высота колонны,  $h$  составляет 3,0 м, то количество витков,  $n$  греющих проводов по колонне, с учетом их общей длины составит:

$$n_{вит} = l_{пр} / h = 25 / 3 = 8,3 \text{ шт.}$$

Рассматривая сечение колонны и ее габариты 40 × 40 = 160 см, принимая, что для создания равномерной температуры прогрева эти витки проводов следует разместить по углам и непосредственно в середине, то есть через 19 см.

Возможен вариант и кольцевого размещения, который тоже может обеспечить требуемую мощность прогрева при раскладке провода той же длины с шагом по виткам 20 см.

Далее для проверочного обеспечения достаточной мощности определяется общее сопротивление электропровода:

$$R = l_{пр} \cdot p_{уд} = 25 \cdot 0,14 = 3,5 \text{ Ом}$$

Тогда физическая мощность провода составит:

$p_{уд} = U^2/R = 60^2/3,5 = 1,2 \cdot 10^3 \text{ Вт} = 1,2 \text{ кВт}$  – это та мощность, которая потребуется в период изотермического прогрева.

В оперативном режиме работы можно эти расчеты и не проводить, а воспользоваться расчетно-экспериментальными данными, где показатели длины электропровода,  $l_{пр}$ , его сопротивление,  $R_{пр}$ , удельная,  $p_{уд}$  и общая мощность,  $P_{об}$ , а также температура нагрева,  $t$ , представлены во взаимосвязях, по которым без подробных расчетов можно определить нужные показатели и наметить оптимальные технологические решения [2, 12].

Таким образом, в результате проведенных научных исследований в НИЛ "Информатики и технологии в строительстве" уточнены и оценены влияющие факторы, с учетом которых разработаны и обоснованы методики расчетов и проектирования технологических режимов прогрева бетона зимой в монолитных конструкциях с использованием греющих проводов.

Научная новизна проведенных исследований заключается в комплексном подходе к оценке технологии и организации работ по термообработке бетона зимой в монолитных конструкциях с корректировкой на научно-техническую модернизацию выполняемых работ, что в итоге, за счет уточнения и учета современных влияющих факторов, режимов и способов прогрева, существенно упрощает проектирование и ведет к повышению интенсивности производства работ. Справедливость этого неоднократно подтвердилась результатами производственных испытаний и внедрений при проектировании (ППР) и возведении монолитных конструкций на следующих объектах: в г.Минске – Бизнес-центр "Европа", ул. Сурганова; магазин с паркингом, ул. В. Хоружей; комплекс жилых домов в границах проспекта Победителей – района Дрозды – реки Свислочь; в г.Бресте – жилые дома в микрорайоне №5.

После проведения экспериментальных работ и анализа полученных данных, предлагаемый метод сравнивался по эффективности с другими методами термообработки и прогрева бетона по основным показателям производства работ: энергозатраты  $\Delta$ , кВт·ч, трудозатраты  $T$ , чел·ч/м<sup>3</sup>, продолжительность работ с учетом времени прогрева  $\Delta$  сут.

В результате можно заключить, что с применением рассмотренных методов, чаще всего и, это стало закономерным, результаты по названным показателям существенно отличаются преимуществом в пользу метода прогрева с использованием электрогреющих проводов по предлагаемой технологии. Дорогим, по показателям затрат труда и электроэнергии оказался электродный прогрев.

Обычное термосное выдерживание отличалось увеличением в 2 – 4 раза по показателю продолжительности работ, вследствие замедления роста прочности и, даже при использовании комплексных ускоряющих и противоморозных добавок (С – 3). Однако при этом выявилось, что при обогреве бетона с такими добавками при  $t_{нв}$  ниже  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  были получены весьма любопытные значения. Потребляемая мощность, в отличие от электродного прогрева, в 2 – 3 раза была ниже, поскольку бетон не является электропроводником и отличается от вариантов с использованием греющих проводов. Требуемая прочность бетона достигалась в этих случаях также в 1,3 – 1,6 раза быстрее и при меньших затратах электроэнергии.

Таким образом, 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 ( $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ) прогрева в начальной стадии с тем, чтобы бетон с добавками надежно твердел и ускоренно

набирал требуемую прочность. При применении бетонов без добавок в среде с температурой ниже  $-10$  °С целесообразно использовать прогрев греющими электропроводами, что помимо ускоренного достижения прочности, обеспечивает снижение затрат ресурсов.

Неоднократные примеры производства работ по возведению монолитных конструкций в сочетании с проведенными научными исследованиями по изысканию путей снижения продолжительности работ и снижения вынужденных энергетических затрат при зимнем бетонировании, позволили выявить эффективность использования греющих проводов для качественного прогрева бетона в немассивных конструкциях с насыщением арматурой от 100 до 300 кг/м<sup>3</sup>.

Разработаны научно-практические рекомендации по внедрению и эффективному их освоению переданы заинтересованным строительным и проектным организациям, которыми можно пользоваться при расчетах и проектировании, как на стадии подготовки, так и оперативном режиме выполнения прогрева бетона в монолитных конструкциях, что будет способствовать сокращению продолжительности работ и расходу энергетических затрат.

#### *Литература:*

1. Руководство по прогреву бетона в монолитных конструкциях. НИИЖБ. – М.: Стройиздат. – 2005. – 270 с.
2. Проектирование технологии термообработки бетона с использованием методов контактного электрообогрева. БНТУ. – Мн., 2004. – 58 с.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Гостехтеориздат. – 1952.
4. Блещик Н.П., Протько Н.С., Рыскин М.Н. Математические модели кинетики гидратации цемента // Материалы международной конференции: Инженерные проблемы современного бетона и железобетона, 12 – 17 ноября 1997. – С. 25–36.
5. Лысов В.П. Греющие электропровода в технологиях обогрева помещений и устройствах бытового и производственного назначения. – Мн.: БНТУ. – 2005. – 310 с.
6. Крылов Б.А. Возведение монолитных конструкций // Сб. "НИИЖБ 75 лет в строительстве". – М., 2002.
7. Лукьянов В.С. Расчет температурного режима бетонных и железобетонных конструкций при зимнем производстве работ. – М.: Трансжелдориздат. – 1934. – 182 с.
8. Бабицкий В.В. Структура и коррозионная стойкость бетона и железобетона. – Мн.: Строительная наука и техника, № 2. – 2005. – С. 33–38.
9. Ахвердов И.Н. Основы физики бетонов. – М.: Стройиздат. – 1981. – 464с.
10. Головнев С.Г. Параметры технологии и качество зимнего бетонирования. Строительство. № 5, 6.: Известия вузов. – 1995.
11. Шифин С.А. Практика применения греющего провода и технология транспортных сооружений // Технология и качество возводимых монолитных конструкций из бетона. / Научные труды ОАО ЦНИИС. Вып. 217. – М.: ОАО ЦНИИС. – 2003. – С. 216–221.
12. Абрамов В.С. Амбарцумян С.А. Методы и технические средства тепловой обработки бетона на основе применения электропроводных полимеров. – М., 1998.
13. Миронов С.А., Глазырина Е.Г. Влияние раннего замораживания на прочностные и деформативные характеристики бетона / Зимнее бетонирование и тепловая обработка. – М., 1975. – С. 71 – 87.
14. Арбеньев А.С. От электротермоса к синэнергобетонированию. Владимирский ГТУ. – Владимир, 1996. – 272 с.
15. Руководство по электротермообработке бетона. НИИЖБ. – М.: Стройиздат. – 1974. – 254 с.
16. Руководство по производству бетонных работ в зимних условиях в районах Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера. М.: Стройиздат 1982. – 312 с.