

УДК 693.55:003.13

Виктор Петрович ЛЫСОВ,
доктор технических наук,
профессор кафедры
"Организация строительства
и управление недвижимостью"
Белорусского национального
технического университета

Николай Михайлович ГОЛУБЕВ,
кандидат технических наук,
декан строительного факультета
Белорусского национального
технического университета

Дмитрий Маркович ПИКУС,
кандидат технических наук,
доцент кафедры
"Организация строительства
и управление недвижимостью"
Белорусского национального
технического университета

Тамара Васильевна КРИВИЦКАЯ,
инженер,
аспирант
Белорусского национального
технического университета

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЕ СОКРАЩЕНИЕ СРОКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА И СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ

**ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL IMPROVEMENT
OF ERECTING CAST-IN-SITU STRUCTURES
IN WINTER PERIOD WHICH PROVIDES REDUCTION
IN COSTS AND TERMS OF CONSTRUCTION**

Представлены результаты исследований по производству бетонных работ в зимний период в Республике Беларусь при возведении монолитных железобетонных конструкций, которые позволили выявить эффективность использования греющих электропроводов для качественного прогрева бетона в немассивных конструкциях с насыщением арматурой от 100 до 300 кг/м³.

Рассмотрены методы прогрева бетона, предложены новые методические и организационно-технологические положения по расчету, проектированию и выполнению работ по прогреву бетона с использованием греющих электропроводов.

Уточнена эффективность применяемых методов зимнего бетонирования, рекомендованы способы прогрева бетона как с использованием химических добавок, так и без них. Предполагается продолжение исследований с подготовкой методических документов для практического применения.

The research results on production of concrete works in winter time during erection of cast-in-situ reinforced concrete structures in the Republic of Belarus are presented. These structures allowed revealing the effectiveness of applying wires for concrete heating in non-massive structures congested with reinforcement from 100 to 300 kg/m³.

The methods of concrete heating have been considered, new methodological and organizational-technological statements on design and heating of concrete using heating electric wires have been proposed.

The effectiveness of the methods applied for concrete placement in winter time has been defined more exactly, the techniques of concrete heating both with chemical additives and without them have been recommended. The continuation of the research is planned with the subsequent development of the methodological documents for practical usage.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема увеличения объемов капитального строительства, выдвинутая Программой социально-экономического развития Республики Беларусь, связана с задачами совершенствования и повышения интенсивности выполнения основных видов строительного-монтажных работ, в том числе бетонных и железобетонных, которые в зимних условиях существенно замедляются, из-за чего нарушается ритмичность производства и увеличивается общая продолжительность строительства [1–4]. Практически с наступлением холодов и морозов перед строительными предприятиями, которые осуществляют возведение 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 $f_{c, cube}^G$ [5, 6].

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

В статье приводятся результаты исследований в этом направлении и предложения по применению их на практике.

ОСОБЕННОСТИ И ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗВЕСТНЫХ МЕТОДОВ БЕТОНИРОВАНИЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Известно, что при температуре окружающей среды ниже 5 °C твердение бетона замедляется, а при 0 °C и ниже — совсем прекращается и он замерзает [7, 8]. Поэтому необходимо принимать особые меры по утеплению опалубок и открытых бетонных поверхностей или использовать противоморозные и ускоряющие

тверждение добавки, выдерживая бетон по методу "термос" [9]. Среди других этот метод вне конкуренции. Однако, с понижением температуры среды ниже минус (5–10) °С, требуемая технологическая прочность при этом способе выдерживания не достигается, что в итоге не обеспечивает ускорения темпов проведения работ [8].

Учитывая вышеизложенное, потребовалось предложить способ прогрева бетона путем применения соответствующих методов термообработки, которые позволяют в зимнее время, не снижая интенсивности производства работ, увеличивать темпы строительства объектов [8].

Традиционный способ электродного прогрева доступен для самых различных конструкций и производственных условий [3, 10]. Однако в немассивных конструкциях, к которым относятся несущие каркасы и конструкции зданий, насыщенные арматурой (до 300–400 кг/м³), применение этого метода затрудняется из-за возможных электрических замыканий электродов на арматуру и образования деструктивных процессов в бетоне при термообработке.

Другие методы прогрева бетона из-за повышенного расхода электроэнергии и увеличения стоимости работ также являются мало приемлемыми. Поэтому при проведении исследований и разработок, касающихся производства бетонных работ в зимний период, было установлено, что есть возможность технологического совершенствования методов прогрева бетона, в том числе и с добавками, с использованием греющих электропроводов, которые целесообразно применять и в условиях пониженных температур наружного воздуха (от минус 5 °С до минус 25 °С) в немассивных конструкциях, насыщенных арматурой [2, 9, 10].

ТРЕБУЕМЫЕ МОЩНОСТИ И РЕЖИМЫ ПРОГРЕВА БЕТОНА В МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Одним из важных технологических параметров при проектировании режимов прогрева является показатель требуемой мощности, что, безусловно, связано с потерями тепла в период укладки и термообработки бетона в опалубке. С этой целью авторы провели многочисленные эксперименты в производственных условиях при возведении наиболее распространенных конструкций массивностью по модулю поверхности M_n , предусматриваемой в проектах и равной 4–16 м². Значения исследуемых показателей определялись путем замеров современными измерительными приборами.

Одновременно проводились теоретические расчеты по потерям тепла бетонной смесью Q_{np} за технологические циклы укладки, выдерживания и двухстадийного прогрева по известным научным положениям теплотехники и рекомендациям по зимнему бетонированию [1, 11, 12].

При этом учитывались:

- а) потери тепла, Дж:
 - на нагрев опалубки $Q_{оп}$;
 - на нагрев арматуры $Q_{ар}$;
 - на испарение влаги $Q_{вп}$;
 - на теплопередачу в окружающую среду $Q_{пот}$;

б) расход тепла, Дж:

- на начальный подъем температуры в уложенном бетоне $Q_{нб}$;
- на поддержание температуры от потерь при изотермическом прогреве $Q_{ин}$.

Далее эти расчеты сравнивались с экспериментальными производственными данными термообработки, в которых учитывались влияние притока тепла, выделяемого в результате гидратации цемента $Q_{ц}$ [1, 12], а также потери за счет испарения и теплопроводности через опалубку в стационарном режиме [13].

В результате многочисленных расчетов тепло- и электротехнических данных и натурных опытов, проведенных с инструментальными замерами, определены показатели для проектирования прогрева бетона в монолитных конструкциях как при подготовке к производству (в проекте производства работ — ППР), так и в оперативном режиме по ускоренному варианту расчета. В таблице 1 для некоторых разновидностей конструкций приведены полученные в результате расчетов показатели, которые являются исходными при определении продолжительности прогрева конструкций, подборе и расстановке греющих проводов, обеспечивающих в комплексе достижение требуемой прочности прогреваемого бетона. Объективность этих показателей подтверждается результатами реального проектирования и внедрения, о чем сообщается в разделе статьи "Новизна и эффективность внедрения".

ВЗАИМОСВЯЗЬ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПРОГРЕВА С РОСТОМ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА В ОПАЛУБКЕ

Вторым важным технологическим показателем в организации прогрева является определение его реальной продолжительности $t_{пр}$, которая обеспечит уверенное достижение бетоном 70 %-ной прочности к концу термообработки. На основе экспериментальных и расчетных данных были разработаны графические номограммы (рисунок 1), по которым можно установить взаимосвязь планируемой прочности с температурными режимами прогрева 30 °С, 40 °С, 50 °С, 60 °С и требуемой для этого продолжительности прогрева в часах.

Методика определения ожидаемых показателей осуществляется следующим образом. Например, для заданного примера термообработки колонны требуется определить продолжительность ее прогрева при температурном режиме 60 °С для достижения бетоном прочности 70 % от $f_{c, cube}^0$. Для этого надо из точки на линии ординат, равной 70 % (характеризующей эту прочность), провести прямую до пересечения с кривой 4 (см. рисунок 1), характеризующей температуру прогрева, равную 60 °С. Далее, опуская из точки пересечения перпендикуляр на ось абсцисс, получим искомое значение продолжительности прогрева, равное 28 ч. Действуя аналогичным образом, на графике, то есть процент от гарантированной прочности $f_{c, cube}^0$ и температуру прогрева $t_{пр}$. Многочисленные сравнения данных, полученных с помощью графика, показали,

Таблица 1. Расчет мощности по элементам

Но- мер пп	Наименование элемента	Размер элемента, м			Затраты тепла (энергии) на подъем температуры одной конструкции			Мощность в зависимости от времени подъема температуры, кВт			
		В	Т	Л	кДж	ккал	кВт/ч	3 ч	4 ч	5 ч	6 ч
1	Колонна	Ширина	Толщина	Высота							
		0,4	0,4	3,0	97 830	23 365	27,3	9,1	6,8	5,5	4,5
		0,2	0,2	2,0	19 073	4555	5,32	1,8	1,3	1,1	0,9
		0,4	0,5	4,5	173 217	41 370	48,3	16,1	12,1	9,7	8,1
		0,3	0,4	3,5	85 500	20 420	23,85	7,9	6,0	4,8	4,0
		0,3	0,3	3,0	56 856	13 579	15,56	5,3	3,0	3,2	2,6
2	Балка	Ширина	Высота	Длина							
		0,2	0,3	6,0	105 537	25 206	29,4	9,8	7,4	5,9	4,9
		0,3	0,4	3,0	113 693	27 154	31,7	10,6	7,9	6,3	5,3
		0,4	0,52	4,8	357 196	85 311	99,6	33,2	25,0	20,0	16,6
		0,4	0,6	6,0	493 125	117 755	137,6	45,9	34,3	27,5	23,0
		0,36	0,9	6,0	592 756	141 571	165,4	55,1	41,3	33,1	27,6
3	Плита перекрытия	Ширина	Длина	Высота							
		6,0	6,0	0,08	824 860	197 005	230	76,7	57,5	46,0	38,4
		6,0	6,0	0,2	1 929 404	460 808	538	179,4	134,6	107,7	90,0
		6,0	6,0	0,26	3 315 069	791 753	924	308,3	231,2	185,0	154,1
		4,0	6,0	0,1	754 302	180 153	210	70,1	52,6	42,1	35,1
		2,0	4,0	0,12	297 194	70 980	83	27,6	20,7	16,5	13,8
4	Стена	Толщина	Длина	Высота							
		0,2	6,0	3,0	693 941	165 737	194	64,5	48,4	38,7	32,3
		0,3	6,0	3,0	1 013 839	242 140	283	94,3	70,7	56,6	47,1
		0,4	6,0	3,5	1 498 452	357 882	418	139,3	104,5	83,6	69,7
		0,5	6,0	3,0	1 520 141	363 062	424	141,4	106,0	84,8	70,7
		0,6	4,0	3,0	1 193 332	285 009	333	111,0	83,2	66,6	55,5

что они совпадают с фактическими. Поэтому график вполне можно использовать при расчетах в ППР и оперативном режиме производства [2, 14, 15].

Авторы полагают, что вышеизложенные методы определения расчетных характеристик существенно помогут организаторам производства в оперативном режиме, с достаточной для практических целей точностью, назначать и контролировать реальность получаемых значений показателей при прогреве греющими электропроводами.

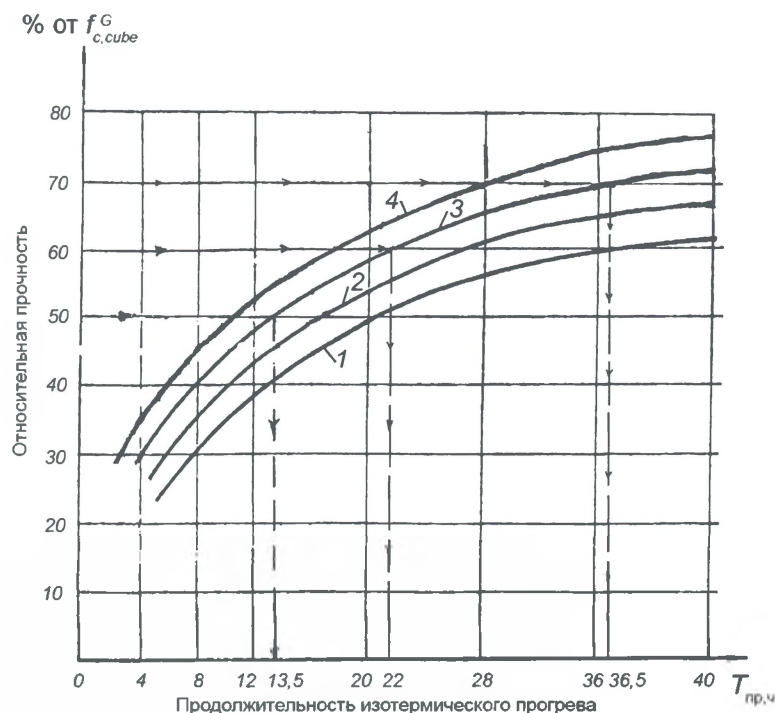
РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ГРЕЮЩИХ ЭЛЕКТРОПРОВОДОВ И ИХ РАЗМЕЩЕНИЕ В БЕТОНИРУЕМЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Практическая необходимость в греющих электропроводах должна определяться из требуемой расчет-

ной мощности $P_{об}$. Как частный характерный случай рассмотрим пример прогрева колонны сечением 40х40 см и высотой 300 см при температуре наружного воздуха минус 15 °С. Согласно изложенному в предыдущем разделе, по таблице 1 устанавливаем, что для подъема температуры в бетоне до 60 °С потребуется:

- количества энергии — 27,3 кВт/ч;
- мощности на указанный подъем температуры за 6 ч — 4,5 кВт.

Экспериментально определено, что на поддержание температуры 60 °С в режиме изотермического прогрева требуется 0,714 кВт/ч электроэнергии. Поэтому расчет греющих электропроводов проводился только на максимальное значение мощности (4,5 кВт), которой с избытком достаточно для изотермического прогрева.



Температурные режимы:
1 — 30 °C; 2 — 40 °C; 3 — 50 °C; 4 — 60 °C

Рисунок 1. Зависимость относительной прочности бетона от его температуры и продолжительности изотермического прогрева

С учетом электробезопасности величина напряжения, подаваемого от понижающего трансформатора на греющие электропровода, принята равной 60 В. Принимая во внимание особенности армирования и открытость колонн, было установлено, что температура бетонной смеси после укладки должна составлять 18 °C. Безопасный подъем температуры принят по 7 °C в час. Тогда продолжительность подъема температуры $T_{под}$, ч, до 60 °C составит:

$$T_{под} = \frac{60 - 18}{7} = 6.$$

Общую длину греющего электропровода $l_{пр, м}$, необходимую для достижения бетоном температуры 60 °C, определим по показателям требуемой расчетной мощности $P_{об}$, удельной мощности электропроводов $p_{уд}$ (ориентировочно 30 Вт/м) при продолжительности подъема температуры $T_{под} = 6$ ч:

$$l_{пр} = \frac{P_{об} / p_{уд}}{T_{под}} = \frac{4500 / 30}{6} = 25.$$

Учитывая, что высота колонны $h = 3,0$ м, количество витков n , шт, греющих электропроводов по колонне с учетом их общей длины составит:

$$n = \frac{l_{пр}}{h} = \frac{25}{3} = 8,3.$$

Рассматривая сечение колонны и ее габариты (40x40 = 160 см), принимаем, что для получения равномерной температуры прогрева электропровода следует разместить вдоль ребер колонны и непосредственно в середине, то есть через 19 см по периметру колонны (рисунок 2а).

Возможен вариант и кольцевого размещения греющих электропроводов по схеме, представленной на рисунке 2б, который тоже может обеспечить требуемую мощность прогрева при раскладке электропроводов той же длины с шагом витков 19 см.

Определим общее сопротивление электропровода $R_{пр}$, Ом, необходимое для обеспечения его достаточной мощности (принимая удельное сопротивление электропровода $\rho = 0,14$ Ом/м):

$$R_{пр} = l_{пр} \cdot \rho = 25 \cdot 0,14 = 3,5.$$

Тогда расчетная мощность выбранного электропровода $P_{пров}$, кВт, для прогрева бетона в изотермическом режиме в течение часа составит:

$$P_{пров} = \frac{U^2}{R} = \frac{60^2}{3,5} = 1,2 > 0,714.$$

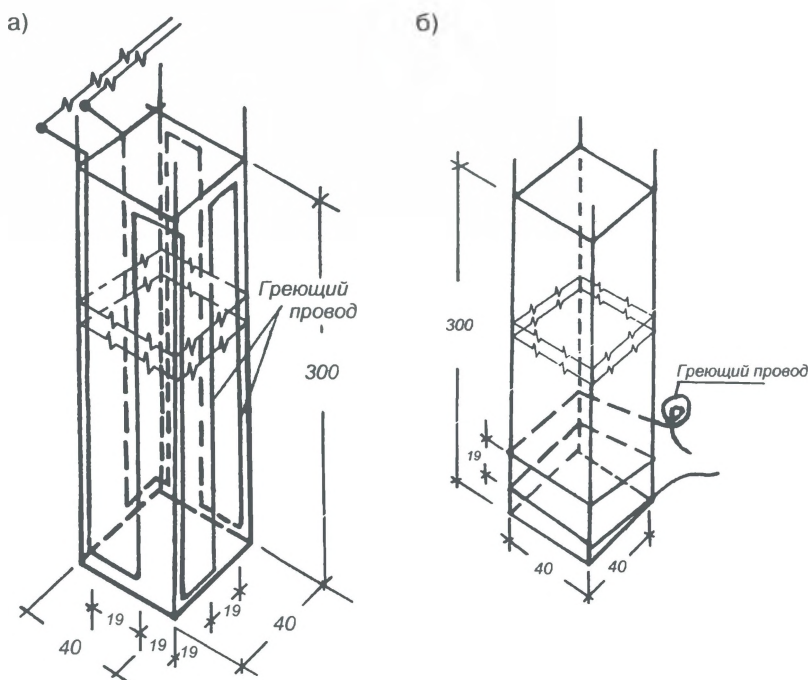


Рисунок 2. Размещение греющих электропроводов в колоннах сечением 40x40 см и высотой $h = 300$ см:
а — вертикальное размещение по высоте;
б — кольцевое размещение

В оперативном режиме работы приведенные выше расчеты можно не производить, а воспользоваться расчетно-экспериментальными данными таблицы 2, в которой показатели (для температурных режимов от 40 °С до 80 °С) длины электропровода $l_{пр}$, его сопротивления $R_{пр}$, удельной $\rho_{уд}$ и общей мощности $P_{об}$, температуры нагрева t_n представлены во взаимосвязях, по которым без подробных расчетов можно определить нужные показатели и наметить оптимальные технологические решения [2, 9].

Таким образом, в результате проведенных научных исследований в научно-исследовательской лаборатории "Информатика и технология 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 электропроводов.

НОВИЗНА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ

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. Таким образом, за счет уточнения и учета современных влияющих факторов, режимов и способов прогрева существенно упрощается проектирование и повышается интенсивность производства работ. Справедливость вышесказанного неоднократно подтверждалась результатами производственных испытаний и внедрений при проектировании и возведении монолитных конструкций на следующих объектах:

а) в г. Минске:

- Бизнес-центр "Европа", ул. Сурганова (рисунок 3);
- магазин с паркингом, ул. В. Хоружей (рисунки 4а, 4б);
- комплекс жилых домов в границах проспекта Победителей—района Дрозды—реки Свислочь;

б) 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, значения которых приведены в таблице 3:

- энергозатраты $\mathcal{E}$, кВт · ч/м³;
- трудозатраты T , чел·ч/м³;
- длительность работ с учетом продолжительности прогрева $\tau_{пр}$, сутки.

В результате можно заключить, что с применением рассмотренных методов чаще всего результаты по названным показателям существенно отличаются преимуществом в пользу метода прогрева с использованием греющих электропроводов. Более дорогостоящим по затратам труда и электроэнергии оказался электродный прогрев.

При термосном режиме выдерживания бетона показатель продолжительности прогрева в 2—4 раза выше,

Таблица 2. Параметры греющих электропроводов для $\rho = 0,14 \text{ Ом/м}$

Длина $l_{пр}$, м	Сопротивление $R_{пр}$, Ом	Общая мощность $P_{об}$, Вт	Удельная мощность $\rho_{уд}$, Вт/м	Температура нагрева t_n , °С
Напряжение 36 В				
18,5	2,59	500,39	27,05	82,5
20,5	2,87	451,57	22,03	70,5
22,5	3,15	411,43	18,29	60,4
24,5	3,43	377,84	15,42	53,4
25,5	3,57	363,03	14,24	50,7
27,0	3,78	342,86	12,70	46,4
30,0	4,20	308,57	10,29	42,1
Напряжение 42 В				
22,0	3,08	572,73	26,03	80,1
24,0	3,36	525,00	21,88	69,9
25,0	3,50	504,00	20,16	55,0
26,0	3,64	484,62	18,64	62,8
27,5	3,85	458,18	16,66	58,2
29,0	4,06	434,48	14,98	51,8
32,0	4,48	393,75	12,30	42,7
35,0	4,90	360,00	10,29	40,3
Напряжение 60 В				
32,0	4,48	803,57	25,11	78,3
35,0	4,90	734,69	20,99	67,6
37,0	5,18	694,98	18,78	61,4
41,0	5,74	627,18	15,30	53,0
43,0	6,02	598,01	13,91	49,4
48,0	6,72	535,71	11,16	44,2
51,0	7,14	504,20	9,89	41,4
Напряжение 80 В				
42,0	5,88	1088,44	25,92	80,2
45,0	6,30	1015,87	22,57	72,2
48,0	6,72	952,38	19,84	55,0
51,0	7,14	896,36	17,58	60,7
57,0	7,98	802,01	14,07	44,8
62,0	8,68	737,33	11,89	42,8



Рисунок 3. Раскладка греющего электропровода и очистка опалубки при возведении перекрытия Бизнес-центра "Европа" по ул. Сурганова (г. Минск)

чем в предлагаемом авторами методе, вследствие замедления роста прочности даже при использовании комплексных ускоряющих и противоморозных добавок (С-3). Однако выявилось, что при обогреве бетона, содержащего такие добавки, при $t_{\text{нв}}$ ниже минус 10 °С были получены весьма любопытные значения. Потребляемая мощность, например, в 2–3 раза оказалась ниже, поскольку бетон не является электропроводником. Также показатель мощности при обогреве бетона с добавками отличается от значения мощности в методе с использованием греющих электропроводов. Требуемая прочность бетона достигалась в предлагаемом авторами методе 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, снижения энергетичес-

ких затрат на прогрев бетона, содержащего ускоряющие добавки, целесообразно создавать "толчок" краткого и невысокого (40 °С) прогрева в начальной стадии с тем, чтобы бетон ускоренно набирал требуемую прочность.

При использовании бетона без добавок в условиях температур ниже минус (10–15) °С целесообразно производить его прогрев греющими электропроводами, что помимо ускоренного достижения прочности обеспечивает снижение затрат ресурсов (см. таблицу 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1 Неоднократные примеры производства работ по возведению монолитных конструкций в сочетании с проведенными научными исследованиями по изысканию путей снижения сроков продолжительности работ и энергетических затрат в зимних условиях бетонирования позволили выявить эффективность использования греющих электропроводов для качественного прогрева бетона в немассивных конструкциях, насыщенных арматурой от 100 до 300 кг на 1 м³.
- 2 Установлены количественные значения показателей требуемой мощности для прогрева бетона в немассивных конструкциях и ее взаимосвязь с температурой и временем прогрева, обеспечивающих достижение прочности бетона в пределах 30 %–70 % от $f_{c, \text{cube}}$.
- 3 Разработаны научно-методические и графические положения по расчету и проектированию режимов прогрева бетонных конструкций, по сокращению сроков продолжительности работ и расхода энергетических затрат.
- 4 Проведены сравнения и уточнена эффективность применяемых методов зимнего бетонирования, на основе которых рекомендуется при температуре среды от минус 10 °С до минус 25 °С применять прогрев бетона (с химическими добавками и без них).
- 5 Авторы считают целесообразным продолжить дальнейшие исследования в этом направлении с подготовкой методических документов для широкого практического пользования.



Рисунок 4. Возведение монолитного железобетонного каркаса при строительстве магазина с паркингом по ул. В. Хоружей (г. Минск)

Таблица 3. Показатели затрат по возведению монолитных конструкций с использованием сравнимых методов термообработки

Номер пп	Температура укладываемой смеси $t_{см}$, °C	Относительная прочность бетона, % от $f_{c, cube}^G$	Модуль поверхности конструкции M , м ²	Температура наружного воздуха $t_{нв}$, °C	Энергозатраты Δ , кВт · ч/м ³	Трудозатраты T , чел · ч/м ³	Продолжительность прогрева $\tau_{пр}$, сутки
Метод "термоса"							
1	20	50	2	-5	23,9	12,4	6,8
2	30	30	2	-10	25,1	11,7	5,6
3	30	30	2	-15	26,1	15,0	7,0
4	30	50	4	-15	28,5	17,3	8,3
Термос с противоморозными и ускоряющими добавками без прогрева							
1	20	50	2	-5	24,6	12,0	4,8
2	30	30	2	-10	25,7	12,7	5,0
То же, с добавкой С-3 и с прогревом до $t = 40$ °C							
1	20	70	6	-10	39,2	19,2	2,8
2	30	50	4	-15	40,3	18,8	3,1
Электродный метод прогрева							
1	—	50	2	-5	58,4	13,7	2,3
2	—	30	2	-20	60,8	14,0	2,8
3	—	70	8	-5	90,6	17,3	2,9
4	—	50	10	-10	92,0	18,0	3,6
Обогрев греющими электропроводами							
1	—	30	2	-20	60,7	13,6	2,4
2	—	50	4	-15	70,4	13,1	2,9
3	—	50	8	-20	82,9	16,7	3,0
4	—	70	10	-10	90,3	18,2	3,2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

Статья поступила в редакцию 21.12.06.