

УДК 624.05:658.511

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ВРЕМЕНИ

Шелехов И.Ю., Смирнов Е.И., Пакулов С.А., Главинская М.М.

*ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»,
Иркутск, e-mail: promteplo@yandex.ru*

В статье представлен анализ технологий зимнего бетонирования, представлены результаты исследований и расчеты применения подогрева бетонных смесей для увеличения качества производства строительных работ. Представлена оценка разных методов подогрева бетонных смесей, показаны преимущества и недостатки каждого метода. В результате исследований было определено, что прогрев методом резистивной греющей (термоактивной) опалубки в системах зимнего бетонирования имеет значительную экономическую эффективность, потребление нагревательными элементами электроэнергии более чем на 30% меньше, чем при других видов электрического подогрева. В результате проделанной работы было показано, что внедрение новых типов нагревательных элементов поможет увеличить не только качество выполняемых работ по зимнему бетонированию, но и существенно снизить экономические затраты. Исследования и расчеты авторов показали, что прогрев с помощью термоактивной опалубки является экономически привлекательным для использования в строительных компаниях при массовой застройке в климатических условиях, в которых преобладают отрицательные температуры.

Ключевые слова: зимнее бетонирование, электронагрев, полупроводниковые материалы, полупроводниковые нагревательные элементы

ANALYSIS OF CONSTRUCTION WORKS IN WINTER TIME

Shelekhov I.Yu., Smirnov E.I., Pakulov S.A., Glavinskaya M.M.

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: promteplo@yandex.ru

The article presents the analysis of technologies of winter concreting, presents the results of research and calculations application of heated concrete mixes to increase the quality of construction works. Presents evaluation of different methods for heating concrete mixtures, the advantages and disadvantages of each method. As a result of research, it was determined that heating by the method of resistive heating (thermosetting) of the formwork systems winter concreting has significant economic efficiency, the consumption of heating elements of electricity by more than 30% less than other types of electric heating. In a result of the done work it was shown that the introduction of new types of heating elements will help to increase not only the quality of work on winter concreting, but also significantly reduce the economic costs. Research and calculations showed that the heating by using the thermosetting formwork is economically attractive for use in construction companies with mass building in the climatic conditions which prevail negative temperature.

Keywords: winter concreting, electric heating, semiconductor materials, semiconductor heating elements

В комплексе работ по возведению сооружений основную часть составляют бетонные работы. Для их качественного выполнения требуется учитывать разнообразные условия и выбирать наиболее эффективные способы ведения. Бетонные работы включают в себя набор производственных процессов, позволяющих получить бетонную кладку нужного качества с наименьшими затратами и в оптимальные сроки. В период времени, когда преобладают отрицательные температуры, при разработке проекта производства бетонных работ необходимо учитывать все требования СНиП и достичь максимальную эффективность проектируемых мероприятий. Процесс проектирования должен осуществляться с учетом температурно-влажностного режима твердения бетона при строительстве бетонных сооружений в различных климатических условиях, и особенно зимой, это является одним из основных вопросов производства бетон-

ных работ [1]. Учет состава композиционных добавок и температурно-влажностных режимов необходим для обеспечения прочности сооружений из бетона и определяет их основные качественные характеристики. Кроме этого это определяет временные характеристики производства работ, которые в свою очередь влияют на весь спектр строительно-монтажных работ. Исходя из реального состояния дел в строительной отрасли, применение сложных и материалоёмких устройств для обеспечения необходимого качества выполняемых работ сложно реализуемо и экономически не целесообразно. Поэтому необходимы новые инновационные технические решения, которые позволят обеспечить необходимое качество выполняемых работ и снизить материальные издержки [2].

Данная статья посвящена исследованиям инновационных технологий производства бетонных работ в зимний период с исследованием различных способов прогрева

бетонных смесей с помощью композиционных материалов разработанным алгоритмом управления поддержания заданных параметров, в зависимости от процесса набора прочности бетона и климатических факторов.

Целью наших исследований был анализ процессов производства бетонных работ с алгоритмическим контролем температурно-влажностного режима при производстве бетонных сооружений в зимних климатических условиях, позволяющие получить бетонную кладку нужного качества с наименьшими энергетическими затратами и в оптимальные сроки. А также оптимизация производственного процесса бетонирования в зимний период времени с разработкой алгоритма управления процесса поддержания температурного интервала, в зависимости от процесса набора прочности бетона и климатических факторов.

Материалы и методы исследования

Результаты исследований были проведены на реально существующих строительных площадках г. Иркутска: строительство жилищного комплекса «Новая эра» и строительство жилого дома в мкр. Зелёный для министерства обороны РФ.

Перед началом проведения экспериментов были изучены все способы зимнего бетонирования, которые применяются в настоящее время, произведена оценка преимуществ и недостатков каждого из способов [3].

В комплексе работ по возведению сооружений при современном строительстве основополагающую часть составляют бетонные работы.

Известно, что при температуре $+5^{\circ}\text{C}$ бетонные смеси резко снижают набор прочности. Все реакции гидратации (твердения) бетона замедляются. При температуре ниже 0°C химически несвязанная вода превращается в лед и увеличивается в объеме приблизительно на 9%. В результате в бетоне возникают напряжения, разрушающие его структуру. Замерзший бетон обладает высокой прочностью, но только за счет сцепления замерзшей воды.

При оттаивании процесс гидратации цемента возобновляется, но из-за нарушений структуры бетон не может набрать проектной прочности и его качество значительно ниже, чем не подвергавшегося замерзанию [4].

Внесение химических добавок приводит к некоторому замедлению набора прочности бетоном по сравнению со скоростью твердения бетона в нормальных условиях, но хим. добавки не панацея от низких температур.

В период времени, когда преобладают отрицательные температуры, при разработке проекта производства бетонных работ необходимо учитывать все требования СНиП и получить максимальную эффективность проектируемых мероприятий. Процесс проектирования должен осуществляться с учетом температурно-влажностного режима твердения бетона при строительстве бетонных сооружений в различных климатических условиях, и особенно зимой, это является одним из основных вопросов производства бетонных работ. Учет состава композиционных добавок

и температурно-влажностных режимов необходим для обеспечения прочности сооружений из бетона и определяет его основные качественные характеристики. Кроме этого определяют временные характеристики производства работ, которые в свою очередь влияют на весь спектр строительно-монтажных работ [5].

Поэтому необходимы новые инновационные технические решения, которые позволят обеспечить необходимое качество выполняемых работ и снизить материальные издержки, также нужно учитывать сложность всех проводимых работ и осознавать ответственность за результат своей работы.

Для проведения исследований нами была изготовлена термоактивная опалубка, параметры которой меняются в зависимости внешних метеорологических условий.

Термоактивной (греющей) опалубкой называются многослойные щиты, которые оснащены нагревательными элементами и утеплены. Теплота через палубу щита передается в поверхностный слой бетона, а затем распространяется по всей его толщине. Обогрев бетона таким способом не зависит от температуры наружного воздуха. Грейщую опалубку применяют при возведении тонкостенных и среднемассивных конструкций, а также при замоноличивании стыков и швов при температуре наружного воздуха до -40°C . Конструкции греющей опалубки многообразны. Основное требование, предъявляемое к ним, – равномерность распределения температуры по опалубке щита [6].

В качестве нагревательных элементов применяют трубчатые электронагреватели (ТЭНы), греющие провода и кабели, гибкие тканевые ленты, а также нагреватели, изготовленные из нихромовой проволоки, композиции полимерных материалов с графитом (углеродные ленточные нагреватели) и токопроводящими элементами и др.

Перед установкой термоактивной щитовой опалубки проверяют осмотром целостность изоляции и электрической разводки. Опалубку устанавливают в блок бетонирования отдельными щитами вручную или укрупненными панелями с помощью кранов. После крепления щиты и панели подсоединяют к электрической сети. Установки для питания термоактивной опалубки и управления режимом прогрева бетона состоят из понижающего трансформатора, системы разводки, щита управления и помещения для дежурного электрика или оператора.

Для изготовления термоактивной опалубки нами был использован нагревательный элемент с положительным коэффициентом сопротивления [7]. При эксплуатации в нормальных условиях, в температурном диапазоне до 40°C , учитывая градиент температуры на поверхности нагревательного элемента, процентное изменение сопротивления, а соответственно, и изменение удельной мощности не превышает значения $\pm 0,5\%$. При изменении внешних метеорологических условий, когда внешняя температура уменьшается, соответственно меняется коэффициент теплоотдачи и изменяется температура на самом нагревательном элементе. Для того, чтобы восстановить температуру, нагревательный элемент меняет свое сопротивление и восстанавливает температуру. При существенных изменениях теплоотдачи максимальное изменение выделяемой мощности составляет 40%. Характеристики применяемого нагревательного элемента полностью моделируют работу терморегулирующего устройства [8]. На рис. 1 показан внешний вид нагревательного элемента, а на рис. 2 показан внешний вид изготовленной термоактивной опалубки.



Рис. 1. Внешний вид нагревательного элемента

Кратко рассмотрим некоторые способы прогрева бетона [9, 10]:

Прогрев методом тепляк

Достоинства: простота конструкций (не требует квалифицированной рабочей силы), простота использования.

Недостатки: энергозатратность, дополнительные временные затраты на возведение конструкций и сами затраты на материалы.

Прогрев методом стержневых арматурных электродов

Достоинства: дешёвые электроды, простота использования.

Недостатки: энергозатратность, сложность в поддержании равномерности прогрева, необходимо постоянно контролировать процесс.

Прогрев методом резистивных греющих кабелей

Достоинства: небольшие энергозатраты, простота использования, равномерный прогрев.

Недостатки: дороговизна самого кабеля, необходимость в технически грамотном и аккуратном персонале.

Прогрев методом резистивной греющей (термоактивной) опалубки:

Достоинства: небольшие энергозатраты, простота использования, равномерный прогрев, многооборотность, а значит, быстрая окупаемость.

Недостатки: нет серийного производства, дороговизна изготовления, квалифицированный обслуживающий персонал.

Результаты исследования и их обсуждение

Каждая схема прогрева бетонной смеси проводилась с помощью инновационной разработки – модуля, который с помощью разработанного алгоритма управления схемами прогрева контролировал параметры: температура наружного воздуха, температура бетонной смеси, ветровая нагрузка на элемент конструкции.

С помощью разработанного программного обеспечения обеспечивался контроль параметров каждого из вышеперечисленных способов прогрева бетонных смесей в различных конструктивных элементах.

При проведённом анализе и рассмотрении смет на различные виды прогревочного оборудования выявилась следующая закономерность: основные затраты на обеспечение качественного прогрева бетона – это стоимость электроэнергии.

Для определения ориентировочных затрат на эксплуатацию различных систем прогрева бетонной смеси проводились замеры на фактически существующих участках строительных площадок с одинаковым объёмом принимаемой бетонной смеси. Расчётные данные проводились в равных условиях – при одинаковых температурах, ветровых нагрузках. Расчётной единицей времени принято 24 часа, т.е. 3 рабочие смены по 8 часов (одни сутки). Для примера



Рис. 2. Внешний вид изготавливаемой термоактивной опалубки

производится расчёт ориентировочной стоимости, которую можно привести для сравнения с учётом того, что все схемы бетонирования производились при температуре ниже 10 °С.

В нашей климатической зоне предлагается определять количество часов работы в год следующим образом: бетонирование с применением прогревочного оборудования начинается с начала ноября и заканчивается в конце марта.

Таким образом, расчётный период составляет 5 месяцев или 151 календарный день по 24 часа – всего 3624 часа. Необходимо учесть, что 20% времени система отключена автоматикой и не работает из-за возможного изменения параметров температуры воздуха и разогревающегося бетона.

Принимается – 3624 часа минус 20% = 2899,2 часа, округляем до 2900 рабочих часов.

Для сравнения ориентировочной годовой стоимости вышеуказанных схем достаточно получить данные об энергетических затратах каждой отдельно взятой системы прогрева бетонной смеси в сутки.

А. Прогрев способом «теплек»

$$C_{\text{год}} = P_{\text{ном}} \cdot H \cdot W - 48 \text{ кВт} \times \\ \times 2900 \text{ часов} \cdot 0,82 \text{ руб.} = 114,144 \text{ руб.}$$

Б. Прогрев «электродами»

$$C_{\text{год}} = P_{\text{ном}} \cdot H \cdot W - 54 \text{ кВт} \times \\ \times 2900 \text{ часов} \cdot 0,82 \text{ руб.} = 128,412 \text{ руб.}$$

В. Прогрев резистивным кабелем

$$C_{\text{год}} = P_{\text{ном}} \cdot H \cdot W - 30 \text{ кВт} \times \\ \times 2900 \text{ часов} \cdot 0,82 \text{ руб.} = 71,340 \text{ руб.}$$

Г. Прогрев термоактивной опалубкой

$$C_{\text{год}} = P_{\text{ном}} \cdot H \cdot W - 20 \text{ кВт} \times \\ \times 2900 \text{ часов} \cdot 0,82 \text{ руб.} = 47,560 \text{ руб.}$$

Из расчётов видно, какая из систем прогрева бетонной смеси наиболее дорогая в денежном отношении, но не стоит пренебрегать и стоимостью самого оборудования, расходных материалов и оборотностью данных материалов. Важно заметить, что есть плюсы и минусы каждого способа прогрева.

Выводы

В результате исследований было определено, что нагревательные элементы обладают свойствами саморегуляции, максимальная их эффективность в системах зимнего бетонирования имеет значительную экономическую эффективность, потребление нагревательными элементами электроэнергии на 20–30%

меньше, чем в предыдущих экспериментах. При расширении производства это даст неоспоримое преимущество на рынке. Все аналогичные проекты разрабатываются на основе микропроцессорной технологии, где стоимость системы управления в несколько раз превышает стоимость самих нагревателей.

Исследования и расчёты показали, что прогрев с помощью термоактивной опалубки является экономически привлекательным для использования в строительных компаниях при массовой застройке в климатических условиях, в которых преобладают отрицательные температуры [11]. Использование нагревательных элементов с положительным коэффициентом расширяет возможности использования электрических нагревательных устройств при производстве строительных работ, так как для их оптимальной работы не требуется сложная и дорогостоящая аппаратура.

Список литературы

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – С. 524.
2. Золотухин С.Н., Горюшкин А.Н. Бетонирование при отрицательных температурах // Научный вестник ВГАСУ: материалы 15-й межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии. Экология». – Воронеж, 2012. – С. 81–85.
3. Вытчиков Ю.С., Беляков И.Г., Нохрина Е.Н. Исследование теплового режима обогрева бетонных конструкций при зимнем бетонировании // Естественные науки и технологическая безопасность: сборник статей по мат-лам 72-й Всероссийской науч.-техн. конф. – Самара, 2015. – С. 171–177.
4. Толочная Е.Б., Титов М.М. Численное моделирование теплофизических процессов в технологии зимнего бетонирования сборно-монолитного каркаса здания // Известия вузов. Строительство. – 2012. – № 11–12. – С. 54–61.
5. Foley T., Schexnayder C. Placing Winter Concrete: Pearl Harbor Memorial Bridge // Practice periodical on structural design and construction. – 2014. – № 20(3).
6. Имайкин Д.Г., Ибрагимов Р.А., Мартынов М.М., Сунгатуллина А.Р. Технология зимнего бетонирования строительных конструкций с применением термоактивной опалубки // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 24. – С. 96–98.
7. Шелехов И.Ю., Шелехова И.В., Иванов Н.А., Головных И.М., Ким БьянгЧул. Патент на полезную модель № 109628 «Нагревательный элемент» от 21.03.2011, патентообладатель: ООО «Термостат», Институт кооперации науки и промышленности Пусанского национального университета.
8. Шелехов И.Ю., Смирнов Е.И., Иноземцев В.П. Применение новых технологий электрического нагрева в процессе зимнего бетонирования // Новая наука: сборник статей Международной научно-практической конференции (04 декабря 2015 г., г. Стерлитамак) / в 2 ч. Ч. 2. – Стерлитамак: РИЦ АМИ, 2015. – С. 200–205.
9. Корытов Ю.А. Зимнее бетонирование с применением нагревательных проводов // Механизация строительства. – 2010. – № 3. – С. 14–20.
10. Никоноров С.В., Байбурун А.Х., Кнутарева Н.В. Методика расчета технологических параметров метода «термоса», обеспечивающая гарантированный набор прочности бетона // Вестник южно-уральского государственного университета. – 2005. – № 13(53). – С. 79–80.
11. Рупосов В.Л., Шелехов И.Ю. Подходы к экономической оценке новых нагревательных приборов: монография. – Иркутск: Изд-во ИРНТУ, 2015. – 174 с.