

3. Градостроительный Кодекс Российской Федерации. Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. № 190 // Российская газета – 30 декабря 2004 г.
4. СП 1.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы.
5. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям.
6. СП 54.13330.2016. Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003.
7. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования
8. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.
9. СП 30.13330.2012. Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85*.
10. СП 402.1325800.2018. Здания жилые. Правила проектирования систем газопотребления.
11. СП 71.13330.2017. Изоляционные и отделочные покрытия. Актуализированная редакция СНиП 3.04.01-87.
12. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*.
13. СП 2.13130.2012. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты.
14. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.

© А. Л. Жолобов, О. А. Жолобова, И. О. Сафонов

Ссылка для цитирования:

Жолобов А. Л., Жолобова О. А., Сафонов И. О. Влияние высоты и этажности многоквартирных жилых зданий на предъявляемые к ним требования // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2018. № 3 (25). С. 6–9.

УДК 693.5

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПРОЦЕССА УСКОРЕННОГО ТВЕРДЕНИЯ
МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ ИК-НАГРЕВА**

М. В. Верейн, Е. М. Дербасова, Р. В. Муканов, Э. Ш. Идрисов

*Астраханский государственный архитектурно-строительный университет
Астраханский филиал РАНХиГС*

Проанализированы преимущества использования инфракрасного нагрева для ускорения процесса твердения бетона в монолитных конструкциях при отрицательных температурах окружающей среды. Обоснована технология ускоренного обогрева монолитной железобетонной плиты с помощью установок ИК-излучения, рассмотрена схема теплообработки монолитных плит перекрытия, даны предложения по оптимизации температурного режима прогрева конструктивных элементов ограждений.

Ключевые слова: монолитный бетон, инфракрасный нагрев, температура, ускоренное твердение, опалубка.

**TECHNOLOGICAL SOLUTION OF THE PROCESS OF ACCELERATED HARDENING
OF MONOLITHIC STRUCTURES BY THE METHOD OF IR-HEATING**

M. V. Verein, E. M. Derbasova, R. V. Mukanov, E. Sh. Idrisov

*Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering
Astrakhan branch of the Russian Academy of National Economy and Civil Service*

The advantages of using infrared heating to accelerate the process of hardening of concrete in monolithic structures at negative ambient temperatures are analyzed. The technology of accelerated heating of a monolithic reinforced concrete slab with the help of infrared radiation installations is substantiated, the scheme of heat treatment of monolithic floor slabs is considered, suggestions are made to optimize the temperature mode of heating the structural elements of fences.

Keywords: monolithic concrete, infrared heating, temperature, accelerated hardening, formwork.

Ускорение темпов монолитного строительства признаётся одной из приоритетных инженерных задач, требующих учёта экономического фактора. Составляющей решения данной задачи является выбор универсального метода ускоренного прогрева бетона в зимних условиях. Длительный процесс твердения смеси при низких температурах и возможное падение прочностных характеристик конструкций – обстоятельства, которые негативно сказываются на технико-экономических показателях проекта.

Оптимальный метод ускорения твердения бетона в монолитных конструкциях должен удовлетворять критерию энергоэффективно-

сти [1]. Расход топливно-энергетических ресурсов в строительном производстве зависит от нескольких факторов, но ключевое значение отводится погодному (температурному). Топливо-энергетические ресурсы (ТЭР), затрачиваемые на работу машин и оборудования, необходимых для создания температурно-влажностного режима, в местах производства составляют не менее 30 % в общей структуре расхода ТЭР на технологические нужды [2].

При проведении монолитных работ в зимнее время энергоресурсы используются для следующих целей:

- отогрев ранее уложенного слоя или грунта основания;

- нагрев опалубки;
- нагрев смеси;
- нагрев арматурного каркаса;
- испарение влаги при росте температуры и изотермическом прогреве;
- компенсация потерь теплоты.

Реализация процесса интенсификации твердения монолитных бетонных конструкций на строительной площадке позволяет снизить затраты при возведении подобных объектов и минимизировать риски недобора проектной прочности, обеспечив надежную эксплуатацию.

Одним из способов создания благоприятных условий для твердения бетона зимой при отрицательных температурах окружающего воздуха является обогрев сформированных бетонных конструкций. Искусственный подогрев бетона электрическим током, паром или тёплым воздухом используют при бетонировании тонких конструкций (балок, колонн, свай и др.). Для прогрева открытых или опалубленных поверхностей обогреваемых конструкций используется также тепловая энергия, выделяемая инфракрасными излучателями. Инфракрасный обогрев обеспечивает хорошее качество термообработки бетона и является наиболее оптимальным вариантом для реализации технологии ускоренного твердения строительных конструкций при отрицательных температурах окружающей среды [3].

Для того чтобы оценить эффективность инфракрасных установок при ускорении твердения монолитных конструкций на глобальном уровне, следует проанализировать компактность технологической схемы производства, увеличение скорости работ в целом и снижение числа дорогостоящих форм и добавок на строительном производстве.

Установки ИК-излучения относятся к тепловым методам активации твердения раствора, которые основаны на повышении скорости протекания химических реакций, обеспечивающих гидратацию цемента при росте температуры. К примеру, при инфракрасном воздействии бетонная смесь может прогреться до значения 80–90 °С. Это ведёт к увеличению скорости гидратации в шесть раз по сравнению со стандартной.

В процессе выбора генераторов ИК-излучения для использования в монолитном строительстве предпочтение, как правило, отдаётся высокотемпературным нагревателям с температурой на поверхности более 250 °С [4]. При их использовании нагрев бетона на основе марок 300–600 до 90 °С с минимальными затратами времени обеспечивается при расходе электроэнергии около 80 кВт / ч.

Распространение инфракрасных лучей в теле конструкции в случае оптимальных настроек системы гарантирует высокое качество термообработки без дополнительных затрат металла на электроды. Автоматизация процесса позволяет задать комплекс температурных и временных параметров для того, чтобы периодически включать и выключать установки, реализуя тем самым энергосберегающий режим работы.

При реализации инфракрасного обогрева не требуется производить работы по переоборудованию опалубки и заниматься вспомогательными строительными операциями: помимо ускорения твердения монолитных конструкций, разрешается использовать установки для избавления от наледи на арматурном каркасе и заопалубленном пространстве.

Прогрев конструкций возможно осуществить параллельно с процессом бетонирования, однако операция в обязательном порядке требует привлечения к работе опытного высококвалифицированного инженерного состава, способного проанализировать особенности каждого элемента и адаптировать технологию без негативных изменений процесса набора прочности. В случае сохранения ранее полученной тепловой энергии суточный цикл обработки инфракрасными лучами позволит добиться до 70 % проектной прочности.

В стандартном случае удельный расход электрической энергии составляет 80–120 кВт / ч на прогрев 1 м³ монолитного элемента [5]. Оптимизация процесса, нацеленная на энергосбережение, снижает затраты ресурсов. Значение зависит от геометрии конструкции и в среднем составляет 20–30 %.

Затраты тепловой энергии минимизируются при работах в замкнутом объёме пространства. При ветреной погоде необходимо корректировать режим воздействия и позаботиться о дополнительных мерах по обеспечению устойчивости инфракрасных установок.

Энерго-и ресурсосберегающая составляющая главным образом выражена в сокращении сроков строительства. Кроме того, тепловой метод ускорения набора прочности даёт возможность использования бездобавочных более дешёвых бетонных смесей. Действие инфракрасных установок после схватывания исключает замерзание смеси в раннем возрасте и дальнейшее нарушение физики твердения.

Согласно экспертным оценкам [6–12], рост экономической эффективности строительного проекта (возведение двух – трёх этажей в течение месяца) наблюдается в зимних условиях при ситуации, когда более 50 % от проектной прочности набирается в период от 1 до 5 дней. Применение установок инфра-

красного излучения даёт возможность влиять на процесс твердения монолитных конструкций с различным модулем поверхности и при температуре ниже 30 °С (в случае предварительной обработки опалубки).

Снижение расхода электроэнергии до минимальных значений наблюдается при прогреве элементов, созданных из сверхжестких растворов (удобоукладываемость не менее 600 сек). Установлено, что с целью повышения эффективности процесса можно добавлять в бетонную смесь хлористый калий в размере не более чем 2 % от веса цемента. Данная мера носит рекомендательный характер, но не является обязательной.

Описание технологического решения процесса ускоренного твердения монолитных конструкций

Ускоренное твердение монолитных конструкций реализовано при помощи установок инфракрасного излучения. Они способны передавать часть спектра электромагнитного излучения с длиной волны от 676 до 1000 мкм без устройств, выполняющих в системе посредническую функцию. Инфракрасный обогрев оптимально подходит для термообработки смеси в случае соблюдения теплового режима выдерживания.

Для того чтобы обеспечить лучшее поглощение излучения и увеличить эффективность процесса, следует покрывать поверхность опалубки чёрным матовым лаком. ИК-лучи значительно интенсифицируют массоотдачу (сушку) в окружающую среду. Данный параметр зависит от ряда факторов, среди которых ключевое значение отводится температуре поверхности элемента, его площади, времени обработки, составу бетона и эффективности укрытия. Использование полиамидной пленки в процессе ускоренного твердения необходимо для частичного снижения скорости массоотдачи.

Потери влаги в бетонах на портландцементных до 30 % и шлакопортландцементных до 35 % от воды затворения в процессе тепловой обработки конструкций не несут опасности в виде снижения прочности.

При обработке монолитных конструкций необходимо установить оборудование по периметру форм опалубки для передачи воздействия на неё и первые слои бетона. Опалубка и нагреватели в процессе работы остаются неподвижными.

На определённом расстоянии от формы (находится с учётом особенностей отдельно взятой конструкции) с залитой бетонной смесью должны быть расположены обогре-

ватели промышленного типа, в составе которых имеются следующие компоненты:

- источник ИК-излучения;
- отражатель;
- подвес или держатель.

С целью создания сфокусированного потока инфракрасных лучей следует применять отражатели сферического или параболического типа, которые направляются непосредственно на опалубку. В качестве источника излучения используются трубчатые электрические нагреватели. Их мощность принимается в пределах от 0,4 до 1,2 кВт. Расположение инфракрасных установок зависит от формы и размеров облучаемой конструкции.

Использование различных марок цемента, видов мелкого и крупного заполнителей не влияет на физику процесса ускоренного твердения конструкций под действием ИК-излучения. Для примера можно взять бетон класса В25, который имеет среднюю прочность на сжатие 327 кг / см². Высокая степень плотности и прочностные особенности обеспечивают ему срок службы около 140 лет. Данный класс чаще всего выбирается при возведении многоэтажных жилых домов в гражданском строительстве. Для его приготовления применяются следующие компоненты:

- цемент М400 с насыпной плотностью 1200 кг / м³;
- кварцевый песок с насыпной плотностью 1550 кг / м³;
- гранитный щебень с насыпной плотностью 1500 кг / м³.

Для обогрева плитных конструкций нужно использовать излучатели, встроенные в отражатели типа «короб», которые выполняются из полированного алюминия. Размеры в плане $a_1 \times a_2$ каждого отдельно взятого отражателя составляют 0,9 × 1,12 м, высота – 0,12 м. Под каждым коробом размещаются 3 ТЭНа, диаметр которых составляет 18 мм, расстояние S между ними принято 300 мм.

Главная задача при выполнении расчёта для обогрева железобетонной монолитной плиты перекрытия – определить мощность инфракрасной установки, необходимую для создания требуемой освещённости на облучаемой поверхности конструкции. На завершающем этапе нужно найти погонную мощность ТЭНов таким образом, чтобы минимизировать затраты энергии.

Коробы с встроенными в них излучателями могут быть установлены непосредственно на бетонную поверхность, укрытую полиамидной пленкой. Альтернативный вариант – подвешивание излучателей на определённом расстоянии от смеси после схватывания, которое определяется с учетом мощности от-

дельно взятого источника инфракрасного излучения и площади поверхности.

Использования инфракрасных установок для интенсификации процесса твердения не усложняет инженерную задачу возведения монолитного перекрытия. Так как устройства имеют сравнительно небольшую массу и площадь чуть более 1 м², нагрузка, оказываемая на набирающую прочность конструкцию, минимальна.

Сразу по окончании процесса схватывания можно использовать установки с коробчатыми отражателями. Это позволит по максимуму сократить время, необходимое для достижения проектной прочности.

На рисунке 1 приведена схема ускоренного твердения монолитной железобетонной плиты с помощью установок ИК-излучения.

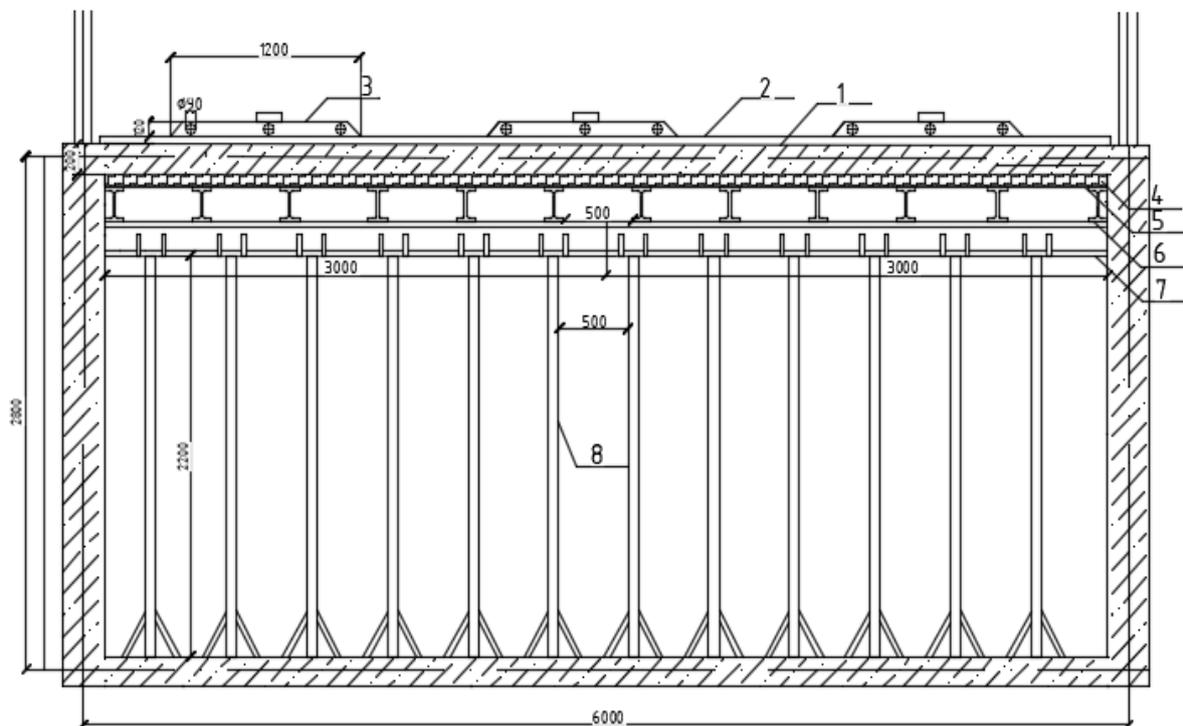


Рис. 1. Схема теплообработки монолитных плит перекрытия:

1 – бетонный раствор, залитый в опалубку с армированием; 2 – полиимидная пленка; 3 – излучатель с отражателем коробчатого типа; 4 – металлическая опалубка; 5 – полистирольные листы; 6 – второстепенные балки двутавровые; 7 – главные балки двутавровые; 8 – телескопическая стойка с унивилкой для поддержки конструкций

В процессе возведения стен при использовании объемно-переставной или щитовой опалубки оптимальным решением является одностороннее действие инфракрасного излучения, которое обеспечивается при использовании параболических отражателей.

Излучающая часть установки закрепляется на штативе. Она может поворачиваться и фиксироваться в определенном положении. Закругленная форма отражателей позволяет направлять на твердеющие конструкции мощный сконцентрированный поток энергии. Согласно усредненной оценке, потребляемая мощность отдельно взятой установки составляет 10 кВт. Количество отражателей на одной установке – 3. В качестве источника электромагнитных волн в инфракрасном диапазоне используются трубчатые электронагреватели ТЭН с прямой нагревающей трубкой. В конструкции нагревателей с тор-

цов предусмотрены небольшие защитные ограждения.

Для того чтобы равномерно прогреть стену, на конструкции держателя монтируются несколько отражателей на разных уровнях. Расстояние от стены определяется расчетом (как правило, принимается от 1 до 2 м). На рисунке 2 приведена схема ускоренного твердения монолитной железобетонной стены с помощью установок ИК-излучения.

При ускоренном твердении конструкций посредством инфракрасного излучения тепло- и массообмен не ограничивается изделием, так как наблюдается и в рабочем пространстве установки. Включение фольги в тело металлической опалубки – оптимальное решение для лучшей фокусировки потока лучистой энергии на бетонируемом элементе.

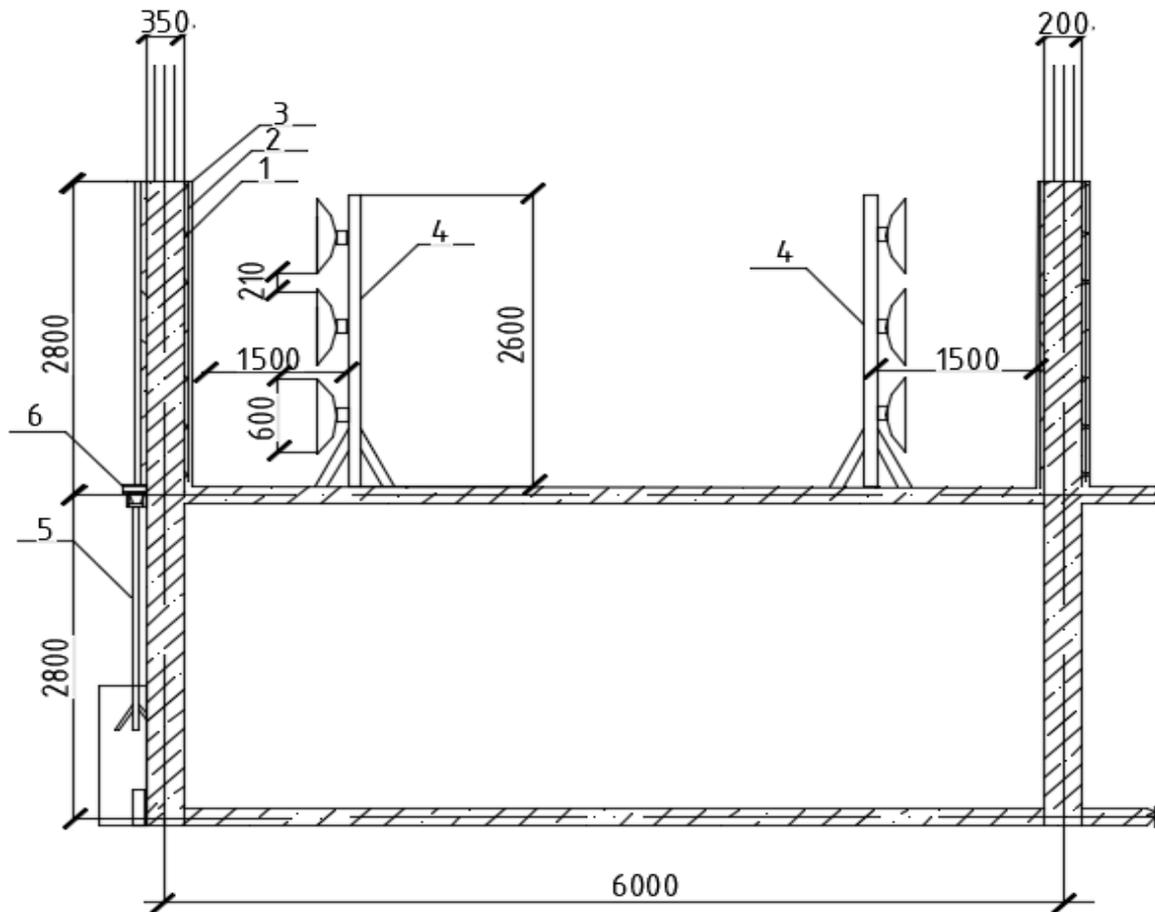


Рис. 2. Схема теплообработки наружной стены и внутренней несущей стены в бескаркасном монолитном жилом доме: 1 – бетонная стена с армированием; 2 – металлическая опалубка; 3 – чехол для защиты от чрезмерной потери влаги; 4 – установка ИК-излучения с параболическими отражателями; 5 – телескопическая стойка; 6 и 7 – деревянные балки для поддержания опалубки

Температурные датчики, зафиксированные непосредственно в теле изделия и на конструкции инфракрасной установки, помогают контролировать температуру бетонируемой конструкции и воздуха, что позволяет вовремя вносить коррективы в режим твердения. Рост значения выше допустимого по ходу изотермического прогрева ведёт к чрезмерному осушению конструкции и возникновению микродефектов, снижающих прочность.

Во избежание завоздушивания и нарушения водоцементного соотношения необходимо использовать вибраторы. При ведении строительных работ в зимних условиях требуется предварительный электроразогрев бетонной смеси; температура предварительно напряжённой арматуры может быть увеличена благодаря действию инфракрасных установок.

Для обеспечения оптимального температурного режима твердения нужно принять во внимание не только состав бетонной смеси, но и параметры окружающей среды. В процессе ускоренного твердения монолитных конструкций под действием инфракрасного излучения с учётом данных, полученных в ходе математического моделирования,

выбран режим, предполагающий выдерживание раствора в течение трёх часов с пределом по температуре, равным 90 °С.

По ходу нагрева температура наружных слоёв конструктивного элемента ограничена значением 40 °С. Процесс ускоренного набора прочности в условиях отрицательных температур будет считаться эффективным до тех пор, пока температура окружающей среды не упадёт до отметки ниже 5 °С.

В ходе исследования было установлено, что в забетонированных ранее слоях сохраняется положительная температура, а процесс твердения продолжается благодаря реакции гидратации клинкерных материалов и цемента, которая лежит в основе процессов схватывания и твердения. Также необходимо учесть передачу тепла от более нагретых слоёв конструкции. При воздействии установок ИК-излучения наблюдается неравномерность температурных полей. Решением проблемы в данном случае является спроектированная система автоматизации процесса, позволяющая оперативно управлять тепловым потоком, что является задачей дальнейших исследований.

Список литературы

1. Боженов П. И. Управление структурой грубозернистого компонента бетонной смеси и экология технологии / Энергообработка бетонной смеси в строительстве : тез. докл. / под ред. А. С. Арбенёва. Владимир : Владим. гос. техн. ун-т, 1996. С. 14–15.
2. Вальт А. Б., Головнев С. Г. О применении различных типов опалубок при зимнем бетонировании // Промышленное строительство. 1978. №4. С. 29–33.
3. Дербасова Е. М. Технология непрерывного изготовления железобетонных корпусов морских ледостойких платформ в условиях Каспийского моря на основе моделирования тепловых режимов отливки : автореф. дис... канд. техн. Наук. Астрахань: АГТУ, 2015. 20 с.
4. Крылов Б. А., Ли А. И. Форсированный электроразогрев бетона. М. : Стройиздат, 1975. 156 с.
5. Арбенёв А. С. Основы комплексной энергообработки бетонной смеси в строительстве // Энергообработка бетонной смеси в строительстве : тез. докл. / под ред. А. С. Арбенёва. Владимир : Владим. гос. техн. ун-т, 1996. С. 8–12.
6. Гендин В. Я. Расчет влагопотерь бетонов при электротермообработке // Бетон и железобетон. 1989. №1.
7. Дербасова Е. М. Разработка физико-математической модели расчета температуры для условий изготовления железобетонных конструкций и изделий в камерах инфракрасного нагрева // Энергоресурсосберегающие технологии: наука, образование, бизнес, производство : мат-лы V Междунар. конф. Астрахан, 2011. С. 90–94.
8. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Введ. 2013–07–01. М. : Стандартинформ, 2013.
9. ГОСТ 24316-80. Бетоны. Метод определения тепловыделения при твердении. Введ. 1982–01–01. М. : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 1982.
10. ГОСТ 27006-86. Бетоны. Правила подбора состава. Введ. 1987–01–01. М. : Госстандарт России : Изд-во стандартов, 1987.
11. ГОСТ 17624-2012. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности. Введ. 2014–01–01. М. : Стандартинформ, 2013.
12. ГОСТ 22690-2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. Введ. 2016–04–01. М. : Стандартинформ, 2013.

© М. В. Вереин, Е. М. Дербасова, Р. В. Муканов, Э. Ш. Идрисов

Ссылка для цитирования:

Вереин М. В., Дербасова Е. М., Муканов Р. В., Идрисов Э. Ш. Технологическое решение процесса ускоренного твердения монолитных конструкций методом ИК-нагрева // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2018. № 3 (25). С. 9–14.

УДК 69.05

OPTIMIZATION IN THE MANAGEMENT OF INVESTMENT AND CONSTRUCTION PROJECTS

V. S. Fedorov, N. V. Kupchikova

Moscow State University of Railway Engineering,

Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering

A detailed analysis of the practical implementation of measures to optimize modern investment and construction projects aimed at choosing the best option possible to achieve the goal has been made.

Keywords: investment and construction project, optimization of the investment and construction project, stages of implementation of the investment and construction project, optimization methods.

ОПТИМИЗАЦИЯ В УПРАВЛЕНИИ ИНВЕСТИЦИОННЫМИ И СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРОЕКТАМИ

В. С. Федоров, Н. В. Купчикова

Московский государственный университет путей сообщения,

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет

Проведён детальный анализ практической реализации мер по оптимизации современных инвестиционных и строительных проектов, направленных на выбор наилучшего варианта достижения цели.

Ключевые слова: инвестиционно-строительный проект, оптимизация инвестиционно-строительного проекта, этапы реализации инвестиционно-строительного проекта, методы оптимизации.

Introduction

The recent increase in investment activity in the construction industry shows that the task of choosing efficient investment projects becomes urgent and depends on a number of parameters characterizing the technical, economic and resource-saving efficiency in implementation. The most effective management principle in the implementation of an investment and construction project is its optimization, i.e. selection of the best option possible to achieve the goal.

The new approach in the theory of the construction of building systems is due to the mathematical and physical formulation of the tasks of optimal de-

sign of construction projects and work projects. The goal of this approach is to determine the only design and technical solution that will be the best of all the possible set and satisfy the set requirements.

Analysis of the current state

Compared with the extensive foreign, the Russian experience of optimal design in the implementation of investment and construction projects is very small [1, 2].

Let us turn to optimization models. The conceptual basis for methodological developments in this direction can be applied to the principles of a systematic approach, within which the system of investment and construction activities is considered