УДК 681.584.53:693.547.14

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-3-124-130

© Б. Н. Воронков, канд. техн. наук, доцент
© М. П. Воронцов, канд. техн. наук, доцент
© Н. А. Елистратов, канд. техн. наук, доцент
© В. В. Резниченко, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: elistratov.ena@gmail.com

© B. N. Voronkov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
© M. P. Vorontsov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
© N. A. Elistratov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
© V. V. Reznichenko, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: elistratov.ena@gmail.com

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТВЕРДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ПУТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ В КАССЕТНЫХ УСТАНОВКАХ ЖИДКИМИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯМИ

INTENSIFICATION OF CONCRETE PRODUCTS HARDENING BY AUTOMATED THERMAL TREATMENT IN BATTERY MOLD FACILITIES BY LIQUID HEAT CARRIERS

Рассмотрены преимущества применения жидких промежуточных высокотемпературных теплоносителей для контактной тепловой обработки железобетонных изделий в кассетных установках по сравнению с водяным паром. Определены параметры циркуляции жидкого теплоносителя компрессорного масла 19Т в щелевых каналах тепловых щитов кассетных установок при изготовлении железобетонных изделий различной толщины. Установлены рациональные температуры теплоносителя и коэффициента его теплоотдачи. Приведены результаты исследований кинетики нагрева плоских панелей толщиной 120, 140 и 160 мм. Даны рекомендации по назначению интервалов циркуляции теплоносителя в период изотермической выдержки и назначению режимов тепловой обработки железобетонных изделий. Предложена система автоматического управления процесса тепловой обработки изделий жидкими теплоносителями, построенная на полупроводниковых реле времени.

Ключевые слова: кассетные установки, тепловая обработка, железобетонные изделия, жидкие теплоносители, интервальная циркуляция, теплообмен, кинетика нагревания, расчеты, теория подобия, режимы, прочность бетона, автоматизация, реле времени, микропроцессор, алгоритм, система управления, структурная схема, исполнительное устройство, сигнал, команда.

The paper considers the advantages of using liquid intermediate high-temperature heat carriers for contact thermal treatment of reinforced concrete products in battery mold facilities in comparison with water vapor treatment. Parameters of circulation of the liquid heat carrier of 19T compressor oil in slit-type channels of thermal control panels of battery molds at manufacture of concrete parts of different thickness are determined. Rational temperatures of the heat carrier and its heat emission coefficient are set. Results of research of heating kinetics of plane panels 120, 140 and 160 mm thick are given. Recommendations for setting the intervals of the heat carrier circulation in the period of isothermal exposure and assigning the modes of thermal treatment of concrete parts are given. The system of automatic control of thermal treatment process of products with liquid heat carriers based on using semiconductor time gauge is offered for using.

Keywords: cartridge installations, thermal treatment, reinforced concrete products, liquid heat carriers, interval circulation, heat exchange, heating kinetics, calculations, theory of similarity, modes, concrete durability, automation, timing gauge, microprocessor, algorithm, management system, block skeleton diagram, actuation mechanism, signal, command.

Совершенствование контактной тепловой обработки железобетонных изделий в кассетных установках может быть обеспечено за счет более широкого применения жидких промежуточных теплоносителей, имеющих по сравнению с наиболее широко

применяемым на заводах сборного железобетона водяным паром следующие преимущества [1–5]:

- при атмосферном давлении в греющих полостях можно создавать температуру с широким диапазоном;

- обеспечивать равномерное распределение температуры по всей площади теплопередающих щитов и нагреваемых изделий;

- значительно уменьшать температурные градиенты в бетоне по толщине нагреваемых изделий;

- создавать условия для ускоренного твердения бетона с меньшими деструктивными явлениями;

- снижать потери тепловой энергии.

Достоинства и рациональные области применения технологических схем контактной тепловой обработки железобетонных изделий жидкими теплоносителями в кассетных установках приведены в табл. 1.

При тепловой обработке железобетонных изделий в кассетных установках наиболее ответственным является период нагревания [8]. В этот период происходят совместные деформации ме-

талла кассетных форм и нагреваемых отформованных изделий, ускоряются процессы схватывания цементного раствора, происходят объемные расширения компонентов заформованной бетонной смеси, имеющих разные коэффициенты объемного расширения. Важную роль при формировании структуры бетона при нагревании изделий играет кинетика нагревания изделий, зависящая от теплообмена теплоносителя с теплопередающей поверхностью стальной стенки и нагреваемым твердеющим бетоном изделий.

Исследования отечественных и зарубежных ученых показали, что процесс теплообмена циркулирующего в щелевых каналах жидкого теплоносителя описывается, согласно теории подобия, следующим критериальным уравнением:

$$Nu = f(x, Re, Pr, Pr_T / Pr_{CT}), \quad (1)$$

где Nu — безразмерное число, определяемое тождеством

Таблица 1

Достоинства и рациональные области применения технологических схем контактной тепловой обработки железобетонных изделий в кассетных установках жидкими высокотемпературными теплоносителями (ВТ)

№ п/п	Технологические схемы контактной тепловой обработки изделий на кассетных установках жидкими ВТ	Достоинства	Рациональные области применения
1	С нагреванием теплоносителя в электротеплогенераторе	Широкий диапазон и простота регулирования температуры теплоносителя. Обеспечивается высокая точность соблюдения режимов тепловой обработки бетона. Высокая экономичность в районах с дешевой электроэнергией. Не требуется сооружения котельных	На специализированных линиях реконструируемых и вновь проектируемых предприятий сборного железобетона, расположенных в районах с дешевой электроэнергией
2	С нагреванием теплоносителя «глухим» паром при $P = 5-8$ ат в кожухотрубчатых теплообменниках	Большое количество тепла, выделяющегося при конденсации водяного пара. Высокий коэффициент теплоотдачи конденсирующегося пара. Теплообменники допускают создание больших поверхностей теплообмена в одном аппарате, просты в изготовлении и надежны в работе	На специализированных линиях реконструируемых и вновь проектируемых предприятий сборного железобетона при наличии котельных (давление пара 5–8 ат) и отсутствии дешевой электроэнергии и природного газа
3	С нагреванием теплоносителя топочными газами в теплогенераторе	Высокая экономичность при использовании эффективного вида топлива — природного газа. Возможно использование тепла отходящих газов	На специализированных линиях реконструируемых и вновь строящихся предприятий сборного железобетона с использованием природного газа или тепла отходящих печей

$$Nu = \frac{\alpha \cdot x}{\lambda},$$

где α — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² · град); x — характерный размер (ширина канала), м; λ — коэффициент теплопроводности жидкости, Вт/(м · град); Re — безразмерное число, определяемое тождеством

$$Re = \frac{\rho \cdot w \cdot l_0}{\mu} = \frac{w_0 \cdot l_0}{\nu},$$

где ρ , μ — плотность и динамический коэффициент вязкости соответственно; w — скорость теплоносителя, м/с; w_0 — характерное значение скорости движения теплоносителя; ν — кинематический коэффициент вязкости; l_0 — характерный размер; Pr — число Прандтля (безразмерное число), определяемое тождеством

$$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda},$$

где μ , ν — динамический и кинематический коэффициенты вязкости соответственно; c_p — теплоемкость при постоянном давлении; a — коэффициент температуропроводности теплоносителя.

Индексы «т» и «ст» показывают, что величины Pr берутся при температуре теплоносителя и стенки соответственно.

Расчет среднего коэффициента теплоотдачи при ламинарном течении теплоносителя в плоском канале производится по формуле [6, 7]:

$$Nu = 1,4(Re \frac{d}{l})^{0,4}(Pr_T)^{0,33}(Pr_T/Pr_{ст})^{0,25}. \quad (2)$$

Множитель $(Pr_T/Pr_{ст})^{0,25}$ учитывает зависимость физических свойств (в основном вязкости от температуры) и влияние направления теплового потока [6].

Формула (2) справедлива для значений $0,06 < (Pr_T/Pr_{ст})^{0,25} < 10$ и $Re \frac{d}{l} \cdot (Pr_T)^{5/6} > 15$, где d — характерный размер (ширина канала).

Параметры потока теплоносителя и, в частности, температура и число Рейнольдса, во многом определяют характер теплообмена между движущимся теплоносителем и поверхностью теплопередающих стенок тепловых отсеков кассетных установок. От них зависит и кинетика нагревания бетона.

По результатам расчетов и конструктивных проработок предложены тепловые щиты кассетных установок со щелевыми каналами шириной в 50 мм и переменной высотой, уменьшающейся по ходу течения охлаждающегося теплоносителя.

При этом тепловой поток через теплопередающие стенки каналов выравнивается за счет увеличения скорости течения теплоносителя и повышения его коэффициента теплоотдачи. Температура теплоносителя компрессионного масла 19Т на входе в щелевой канал теплового щита изменялась от 110 до 125 °С, а коэффициент теплоотдачи жидкого теплоносителя составлял 40 Вт/(м² · град).

Кинетика нагревания железобетонных панелей внутренних стен толщиной 120, 140 и 160 мм определялась расчетом и проверялась на экспериментальной установке. При расчетах температуры на поверхности и в середине плоской панели при двухстороннем нагревании от циркулирующего органического теплоносителя (компрессорного масла 19Т) использованы критерийные зависимости

$$v = \frac{t_c - t}{t_c - t_n} = f(Fo, Bi, \frac{R_0}{R}), \quad (3)$$

где n — безразмерная температура; t_c , t_n — температура среды (теплоносителя) и начальная температура бетона; Fo — временной критерий Фурье, определяемый по формуле

$$Fo = \frac{a \cdot \tau}{R^2},$$

где a — коэффициент температуропроводности, характеризующий быстроту нагревания; Bi — число Био

$$Bi = \frac{\alpha \cdot l_0}{\lambda};$$

R_0 — координата точки, в которой определяется температура; R — максимальная толщина прогреваемого с одной стороны слоя бетона.

Начальная температура бетона плотностью 2400 кг/м³ принята равной $t_n = 20$ °С. Коэффициент теплопроводности бетона $\lambda = 1,64$ Вт/(м · град). Удельная теплоемкость бетона 1,02 кДж/(кг · град).

Коэффициент теплопроводности стальной теплопередающей стенки толщиной 6 мм принят 45 Вт/(м · град), а ее удельная теплоемкость — 0,46 кДж/(кг · град).

В табл. 2, составленной по результатам расчетов авторов, приведена продолжительность нагрева середины изделий до температуры изотермического прогрева 90 °С.

Исследования роста прочности бетона при контактной тепловой обработке жидким теплоносителем — компрессорным маслом 19Т — показали,

Таблица 2

Продолжительность нагрева середины изделий до температуры 90 °С

Показатель	Толщина изделий, мм		
	120	140	160
Температура теплоносителя, °С	110	125	125
Продолжительность нагревания середины изделия, ч	2,5	2,75	3,0

что изотермический прогрев изделий, отформованных из умеренно жестких смесей, применительно к формированию методом подвижных щитов, продолжительностью 4 часа обеспечивает получение прочности бетона 70 % от проектной.

Режим тепловой обработки изделий включает двухсторонний нагрев изделий до температуры 90–95 °С при постоянной циркуляции жидкого теплоносителя, затем — изотермическую выдержку при температуре 90–95 °С с интервальной циркуляцией теплоносителя, обеспечивающей стабильность температуры бетона в пределах допустимого колебания 5 °С (90–95 °С) и естественное остывание в течение двух часов. Продолжительность интервалов циркуляции теплоносителя зависит от конкретных условий производства и толщины изделий, ширины каналов, объема теплоносителя в тепловых отсеках. На основании проведенных опытов интервалы циркуляции теплоносителя можно принять для изделий из бетона толщиной 120 мм — 10 минут, толщиной 140 мм — 15 минут и толщиной 160 мм — 17 минут.

Для управления тепловой обработкой железобетонных изделий предложена универсальная и простая система, которая может быть использована для автоматизации обработки как кассетных установок, так и термоформ. Алгоритм работы системы автоматизации представлен на рис. 1.

При тепловой обработке изделий в кассетных установках нагревание до температуры изотермической выдержки производится при непрерывной циркуляции теплоносителя. При обработке в термоформах возможен как непрерывный, так и ступенчатый нагрев, когда циркуляция теплоносителя производится в течение времени t_1 , прекращается в течение t_2 и вновь возобновляется в течение t_1 .

При непрерывном подъеме температуры промежутки t_2 устанавливаются равными нулю или близким к нулю. На этапе изотермической выдержки изделия насос циклически включается на время t_3 и выключается на время t_4 . Температура теплоносителя на всем этапе тепловой обработки поддерживается постоянной с помощью термостата, который регулирует работу нагревательного устройства. После окончания изотермической выдержки выключается насос, прекращается нагревание и включается световая и звуковая сигнализация.

Задача автоматизации тепловой обработки железобетонных изделий жидкими теплоносителями для автономной установки может быть решена как задача позиционного регулирования различными программными и техническими средствами, приведенными в научных работах [9–13].

Рис. 1. Структурная схема программного автоматического управления тепловой обработкой железобетонных изделий жидким теплоносителем

Но эти системы являются сложными по использованию и эксплуатации и дорогостоящими.

Автоматизация процесса тепловой обработки по поставленной задаче может быть решена без значительных затрат на базе современных цифровых реле времени. Эти реле просты в эксплуатации, надежны в работе при наличии пыли и других загрязнений в окружающей среде, имеют достаточную мощность для непосредственного управления исполнительным механизмом и поэтому не требуют промежуточных устройств согласования с объектом, имеют небольшие габариты, могут монтироваться рядом с объектом управления или на расстоянии.

Для реализации задачи выбраны реле времени типа E234-CT-MFD германского производства, представляющие цифровой таймер с временным диапазоном от 0,05 с до 100 ч с делителем, обеспечивающим возможность до 20 раз увеличивать нижний предел и до 20 раз уменьшать верхнюю уставку. Устройство имеет релейный выход на ток 4 А и напряжение 230 В, 50 Гц, обеспечивая развязку в цепи нагрузки. Напряжение питания 220 В переменного тока, но может запитываться и постоянным током, потребляемая мощность 0,6 Вт. Монтаж реле чрезвычайно прост — оно крепится на DIN-рейку и может устанавливаться в электрощитке типа квартирного. Размер одного реле 18'70'62 мм, внешним видом оно подобно автоматическому выключателю, защищающему электропроводку от короткого замыкания. Реле времени можно запускать на определенный период времени подачей напряжения питания на вход или электрического импульса на управляющий электрод. После окончания заданного периода времени реле переходит в начальную позицию и готово повторить заданный цикл работы.

Разработанная система автоматизации представлена на рис. 2 в виде структурной схемы. Она состоит из шести однотипных реле времени, которым перед началом работы задаются различные установки времени t . Для реле РВ1 и РВ2 задаются соответственно t_1 и t_2 , для РВ4 и РВ5 — установки t_3 и t_4 , для РВ3 — период $t_5 = 2t_1 + t_2$ от начала подъема температуры изделия до начала изотермической выдержки, для РВ6 — время t_6 от начала прогрева до окончания изотермической выдержки.

Автоматическое устройство программного управления может включаться вручную или от таймера реального времени по сигналу $U_{\text{вкл}}$ в заданное время суток. Напряжение питания подается на реле РВ1, с первого выхода которого сразу же поступает команда на полупроводниковое исполнительное устройство ИУ, которое подает электрическое напряжение на электродвигатель М насоса П, обеспечивающего циркуляцию теплоносителя в термоформе. Через интервал времени t_1 сигнал с первого выхода РВ1 исчезает и цепь открытия ИУ обесточивается, а со второго выхода поступает командный импульс на вход РВ2, включая его в работу. С первого выхода РВ2 сразу идет команда на отключение насоса и прекращение подачи теплоносителя на время t_2 . По прошествии t_2 реле РВ2 со второго выхода включает РВ1 повторно, возобновляя подачу энергоносителя на период t_1 .

По истечении времени $t_5 = t_1 + t_2 + t_1$ срабатывает реле времени РВ3, которое было включено в работу при пуске установки, и разрывает цепь управления реле РВ2, не позволяя ему запуститься в работу. Одновременно РВ3 подает управляющий сигнал на вход РВ4, которое включается в работу и вместе с РВ5 выполняет циклы интервальной подачи энергоносителя с той лишь разницей, что РВ4 командует прекращением подачи энергоносителя на период t_3 , а РВ5 дает команды на возобновление его подачи в течение t_4 . Такой процесс продолжается до конца изотермической выдержки, когда срабатывает реле РВ6, останавливает РВ4 и РВ5, подает команду на закрытие ИУ и сигнал об окончании прогрева на звонок «Зв» и сигнальную лампу «ЛС». Автоматическая система переводится в начальное состояние.

Устройство позволяет производить тепловую обработку как по типовым заданиям, так и при апробации новых технологических режимов. Включить его может любой рабочий. Возможна работа без участия человека в любое время суток, в том числе ночью или в выходные дни, когда стоимость энергоресурсов ниже.

Таким образом, рассмотренная система автоматического регулирования нагрева строительных изделий обладает следующими практическими достоинствами: простотой конструкции, монтажа и эксплуатации, невысокой стоимостью и незначительными размерами, на-

Рис. 2. Принципиальная схема опытно-промышленной установки с контактной тепловой обработкой железобетонных изделий жидким теплоносителем: 1 — тепловой щит кассетной установки; 2 — теплогенератор; 3 — расширительный бачок; 4 — сборник теплоносителя; 5 — циркуляционный насос; 6 — распределительный регистр

дежностью работы в течение длительного срока службы, качеством регулирования и обеспечивает экономию энергоресурсов.

Выводы

1. Проведенные исследования показали, что контактная тепловая обработка железобетонных изделий в кассетных установках жидкими высокотемпературными теплоносителями с интервальной циркуляцией в щелевых каналах тепловых щитов с постепенно уменьшающимися высотой и площадью поперечного сечения обеспечивает равномерное распределение температуры по плоскостям теплопередающих стенок и нагреваемых изделий.

2. Определены параметры циркуляции нагретого до температуры 110–125 °С теплоносителя с коэффициентом теплоотдачи 35–40 Вт/(м² · град).

3. Для назначения режимов тепловой обработки железобетонных изделий жидкими теплоносителями исследована кинетика нагрева панелей внутренних стен толщиной 120, 140 и 160 мм и установлена продолжительность нагрева бетона от начальной температуры $t = 20$ °С до температуры изотермического прогрева $t = 90$ –95 °С при циркуляции теплоносителя, а также продолжительность интервалов цирку-

ляции теплоносителя с перерывами для поддержания температуры бетона в установленном диапазоне 5 °С в период изотермического прогрева (см. табл. 2).

4. Для соблюдения требуемых режимов тепловой обработки железобетонных изделий жидкими высокотемпературными теплоносителями предложена и разработана схема автоматизированной тепловой обработки изделий на основе цифровых реле времени.

Библиографический список

1. Пухаренко Ю. В., Воронцов М. П., Воронков Б. Н. и др. Железобетонные конструкции: научнотехнический справочник / под ред. Ю. В. Пухаренко, Ю. М. Баженова. М.: НПО «Профессионал», 2013.
2. Трофимов Б. Я. Технология сборных железобетонных изделий. СПб.: Лань, 2014.
3. Воронцов М. П., Ежов А. В., Пугачев А. И. Тепловая обработка железобетонных изделий в установках с автономным теплоносителем // Актуальные проблемы современного строительства: сб. докладов 57-й Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. СПб.: СПбГАСУ, 2004. Ч. I. С. 183.
4. Ежов А. В., Воронцов М. П. Контактная тепловая обработка железобетонных изделий промежуточными теплоносителями // Актуальные проблемы

современного строительства: сб. материалов 63-й Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. СПб.: СПбГАСУ, 2010. Ч. II. С. 153–155.

5. Коваленко Г. С., Воронцов М. П. Контактная тепловая обработка бетона жидкими промежуточными теплоносителями при изготовлении изделий на стендах // Актуальные проблемы современного строительства: сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов. СПб.: СПбГАСУ, 2013. С. 198–200.

6. Чечеткин А. Е. Высокотемпературные теплоносители. М.: Энергия, 1971.

7. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1973.

8. Балатъев П. К., Соколов В. А., Румянцев С. Г. Кассетный способ производства железобетонных изделий. М.: Стройиздат, 1972.

9. Величко Е. П., Соколичик П. Ю. Применение нейросетевого регулятора в системах позиционного регулирования // Вестник ПНИПУ. 2015. № 2. С. 7–20.

10. Вировец М. А., Даниличев Ю. Д. и др. Квинт 7 — новое поколение программно-технических комплексов разработки ОАО «НИИ Теплоприбор» // Теплоэнергетика. 2012. № 10. С. 36.

11. Климовицкий М. Д., Ларин А. А. Автоматическое регулирование температуры при термической обработке холоднокатанных сталей // Автоматизация и современные технологии. 2015. № 2. С. 3–6.

12. Вздудева Н. О., Гитлин В. Б. Система регулирования температуры термостатов хроматографа // Автоматизация и современные технологии. 2016. № 6. С. 3–9.

13. Зиневиц Л. В., Осипов А. Б. Система управления обогревом бетона в греющей опалубке // Автоматизация и современные технологии. 2009. № 12. С. 9–13.

References

1. Pukharens Yu. V., Vorontsov M. P., Voronkov B. N., et al. *Zhelezobetonnye konstruksii. Nauchno-tekhnicheskiy spravochnik* [Reinforced concrete designs. Scientific and technical reference book]. Ed. by Pukharens Yu. V., Bazhenov Yu. M. Moscow, Professional Publ., 2013.

2. Trofimov B. Ya. *Tekhnologiya sbornykh zhelezobetonnykh izdeliy* [Technology of prefabricated concrete products]. St. Petersburg, Lan Publ., 2014.

3. Vorontsov M. P., Ezhov A. V., Pugachev A. I. *Teplovaya obrabotka zhelezobetonnykh izdeliy v ustanovkakh s avtonomnym teponositel'em* [Thermal treatment of concrete goods in installations with the independent heat carrier]. *Trudy 57-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh «Aktual'nye problemy sovremennogo stroitel'stva»* [Proc. of the 57-th Int.sci.-pract. conf. of young scientists "Urgent problems of modern construction"]. St. Petersburg, SPSUACE, 2004, Pt. I, 183 p.

4. Ezhov A. V., Vorontsov M. P. *Kontaktnaya teplovaya obrabotka zhelezobetonnykh izdeliy promezhutochnymi teponositelyami* [Contact thermal treatment of concrete goods with intermediate heat carriers]. *Trudy 63-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh «Aktual'nye problemy sovremennogo stroitel'stva»* [Proc. of the 63-rd Int. sci.-pract. conf. of young scientists "Urgent problems of modern construction"]. St. Petersburg, SPSUACE, 2010, Pt. II, 153–155 p.

5. Kovalenko G. S., Vorontsov M. P. *Kontaktnaya teplovaya obrabotka betona zhidkimi promezhutochnymi teponositelyami pri izgotovlenii izdeliy na stendakh* [Contact thermal treatment of concrete products with liquid intermediate heat carriers at production of products at stands]. *Trudy 63-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh «Aktual'nye problemy sovremennogo stroitel'stva»* [Proc. of the Int. sci.-pract. conf. of young scientists "Urgent problems of modern construction"]. St. Petersburg, SPSUACE, 2013, p. 198–200.

6. Chechetkin A. E. *Vysokotemperaturnye teponositeli* [High-temperature heat carriers]. Moscow, Ehnergiya Publ., 1971.

7. Mikheev M. A., Mikheeva I. M. *Osnovy teploperedachi* [Heat transfer basics]. Moscow, Ehnergiya Publ., 1973.

8. Balat'ev P. K., Sokolov V. A., Rumyantsev S. G. *Kassetnyy sposob proizvodstva zhelezobetonnykh izdeliy* [Battery mold technique of concrete goods production]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1972.

9. Velichko E. P., Sokol'chik P. Yu. *Primenenie neyrosetevogo regul'yatora v sistemakh pozitsionnogo regulirovaniya* [Using the neural network regulator in the systems of position regulation]. *Vestnik PNIPU – Bulletin of PNIPU*, 2015, no. 2, pp. 7–20.

10. Virovets M. A., Danilichev Yu. D. i dr. *Kvint 7 — novoe pokolenie programmno-tekhnicheskikh kompleksov razrabotki ОАО «НИИ Теплоприбор»* [Kvint 7 as a new generation of software and hardware complexes developed by JSC "НИИ Теплоприбор"]. *Teploenergetika – Heat Power Engineering*, 2012, no. 10, p. 36.

11. Klimovitskiy M. D., Larin A. A. *Avtomaticheskoe regulirovanie temperatury pri termicheskoy obrabotke kholodnokatannykh staley* [Automatic control of temperature at heat treatment of the cold-rolled steel]. *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii – Automation and modern technologies*, 2015, no. 2, pp. 3–6.

12. Vzdudeva N. O., Gitlin V. B. *Sistema regulirovaniya temperatury termostатов khromatografa* [System of regulating the temperature of chromatograph thermostats]. *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii – Automation and modern technologies*, 2016, no. 6, pp. 3–9.

13. Zinevich L. V., Osipov A. B. *Sistema upravleniya obogrevom betona v greyushchey opalubke* [A control system of heating concrete in the heating formwork]. *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii – Automation and modern technologies*, 2009, no. 12, pp. 9–13.