

УДК 69.057.46+693.547.32(575.2)
DOI: 10.36979/1694-500X-2026-26-4-115-119

УСТАНОВКА ДЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ ПУСТОТЕЛЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

А.К. Акматов

Аннотация. Сущность индукционного способа электротермообработки бетона заключается в создании переменного электромагнитного поля для прогреваемой конструкции, которое обуславливает наведение вихревых токов (токов Фуко) в арматуре и закладных деталях внутри бетона, либо в металлической опалубке. Эти токи нагревают металл, от которого теплота кондуктивно передается в бетон, обеспечивая его нагрев. Индукционный эффект также применяется в плавильных печах, в устройствах для нагрева и поверхностной закалки металлов и др. При переходе на рыночные отношения после развала СССР в Кыргызской Республике на заводах железобетонных изделий перестали использовать пар для тепловлажностной обработки железобетонных изделий из-за его дороговизны. В данной статье приведена концепция установки для тепловой обработки пустотелых железобетонных конструкций с использованием индукционного эффекта.

Ключевые слова: индукционный прогрев; пустотелый железобетон; магнитопровод; стальная опалубка; кабель; соленоид.

КӨНДӨЙ ТЕМИР-БЕТОН БУЮМДАРЫН ИНДУКЦИЯЛЫК ЖЫЛУУЛУК МЕНЕН ИШТЕТҮҮЧҮ КУРАМА

А.К. Акматов

Аннотация. Темир-бетонду электротермикалык иштетүүнүн индукциялык ыкмасынын маңызы жылытылып жаткан конструкция үчүн өзгөрмөлүү электромагниттик талааны түзүү болуп саналат, ал бетондун ичиндеги арматурада жана орнотулган бөлүктөрүндө же металл калыптарда куюндуу токторду (Фуко токтору) пайда кылат. Бул токтор металлды ысытат, ал жылуулукту бетонго өткөргүчтүк менен өткөрүп, анын ысышын камсыздайт. Индукциялык эффект ошондой эле эритүү мештеринде, металлдарды ысытуу жана бетин катуулатуу үчүн түзүлүштөрдө ж.б. колдонулат. СССР кулагандан кийин рынок экономикасына өтүү менен, Кыргыз Республикасындагы курама темир бетон заводдору курама темир бетонду жылуулук жана нымдуулук менен иштетүү үчүн буу колдонууну токтотушкан, анткени анын баасы жогору болгон. Бул макалада индукциялык эффектти колдонуу менен көндөй курама темир бетон конструкцияларын жылуулук менен иштетүү системасынын концепциясы келтирилген.

Түйүндүү сөздөр: индукциялык жылытуу; көндөй темир-бетон; магниттик чынжыр; болоттон жасалган калып; кабель; соленоид.

INSTALLATION FOR INDUCTION HEAT TREATMENT OF HOLLOW REINFORCED CONCRETE PRODUCTS

А.К. Akmatov

Abstract. The essence of the induction method of electrothermal treatment of concrete is the creation of an alternating electromagnetic field for the structure being heated, which induces eddy currents (Foucault currents) in the reinforcement and embedded parts within the concrete, or in metal formwork. These currents heat the metal, which conductively transfers heat into the concrete, ensuring its heating. The induction effect is also used in smelting furnaces, in devices for heating and surface hardening of metals, etc. With the transition to a market economy after the collapse of the USSR, precast concrete plants in the Kyrgyz Republic stopped using steam for the heat and moisture treatment of

precast concrete due to its high cost. This article presents the concept of a system for heat treatment of hollow precast concrete structures using the induction effect.

Keywords: induction heating; hollow reinforced concrete; magnetic circuit; steel formwork; cable; solenoid.

Индукционный нагрев широко применяется в различных технологических процессах и обладает такими преимуществами, как высокая концентрация энергии в нагреваемом материале, бесконтактность нагрева, надежность работы, удобство регулирования и автоматизации, хорошие условия труда и отсутствие загрязнения окружающей среды. На практике особенно часто используется низкотемпературный индукционный нагрев ферромагнитной стали (ИНФС) на промышленной частоте, так как конструкционная сталь является основным металлом, применяемым в народном хозяйстве, а индукционные устройства для ее нагрева отличаются хорошими энергетическими характеристиками.

Устройства ИНФС обычно работают на частоте 50 Гц, что делает их удобными и простыми в эксплуатации, так как применяемое в них электрооборудование не требует специальной подготовки обслуживающего персонала и не является дефицитным. Более редко используются устройства ИНФС повышенной частоты с соответствующими источниками питания и другим электрооборудованием [1].

Эффект индукционного прогрева широко применяется в металлургии для раскатки металлических заготовок [2] и в плавильных канальных, тигельных печах [3].

Индукционный нагреватель применяют для прогрева забоя и призабойного пространства нефтяных скважин. Такой прогрев является одним из эффективных способов усиления нефтеотдачи пласта и повышения производительности скважины [4].

Технологии высокочастотного индукционного нагрева получили широкое распространение в процессах сверхчистой бесконтактной плавки, сварки металлов и термообработки деталей машин сложной формы, при обработке мелких деталей, которые могут повредиться при газопламенном или дуговом нагреве. Поверхностная закалка после индукционного нагрева значительно повышает износостойкость изделий по сравнению с тепловой обработкой в печах. Индукционный нагрев используется для обеззараживания медицинского инструмента, прямого нагрева жидкостей, сушки древесины и т. д. [5].

Для некоторого улучшения энергетических характеристик индукционных нагревателей в промышленности применяют магнитопроводы. Анализ энергетической эффективности использования магнитопроводов для цилиндрических индукторов показал, что при сравнительно больших длинах индукторов магнитопроводы оказывают малое влияние на их энергетические характеристики. При нагреве сплошных цилиндрических заготовок из стали использование магнитопроводов изменяет общий уровень активной мощности, потребляемой от сети, на 1–3 %. Для коротких индукторов, диаметр которых в 2 и более раз превышает их длину, при нагреве ферромагнитной загрузки использование магнитопроводов позволяет повысить электрический КПД на 13 % и $\cos \phi$ на 17 % [6].

Во время СССР, в том числе и в Кыргызской ССР, в связи с тем, что данные предприятия были в государственной собственности, на заводах железобетонных изделий широко использовался водяной пар для тепловлажностной обработки железобетонных изделий и конструкций в ямных камерах для ускорения их твердения. При этом этот процесс являлся наиболее энергоемким. С распадом СССР и переходом бывших республик СССР на рыночные отношения в экономике и разрушения хозяйственных связей между республиками стоимость Гкал пара для приватизированных предприятий стала дорогой. Поэтому большинство предприятий отказались от пара. Например, в г. Бишкеке с 01.06.2025 г. для промышленных предприятий установлена стоимость 1 Гкал тепла 5998,17 сом., что для производственных целей довольно дорого [7].

В связи с этим встал вопрос использования альтернативных источников энергии для ускорения твердения бетона и железобетона. Одними из них является электротермообработка бетонных и железобетонных изделий, в частности индукционный прогрев в электромагнитном поле.

Прогрев бетона в электромагнитном поле осуществляется путем передачи тепла от разогревающихся вихревыми токами стальных элементов опалубки, арматуры и закладных частей. Непосредственного воздействия на бетон электромагнитное поле с применяющимися на практике параметрами не оказывает, и во внутренние слои материала тепло передается путем теплопроводности. В этом случае образующиеся при твердении бетона фазовый состав новообразований и структура при обеспечении соответствующих температурно-влажностных условий идентичны таковым у пропаренных и твердеющих в нормальных условиях бетонов [8].

Имеются решения для термообработки бетонных и железобетонных изделий в качестве изобретений, например [9]. Недостатком данного устройства является необходимость постоянно надевать индуктор на отформованную трубу в металлической опалубке, а также периодически соединять шины тремя перемычками.

Другой пример приведен в [10]. Недостатком данного решения является то, что в этом изобретении предусмотрено устройство металлического каркаса для обеспечения жесткости, который находится внутри обмотки и подвержен нагреву за счет индукционного эффекта от намагничивающей обмотки, которая в какой-то степени нагревает изоляцию намагничивающей обмотки и способствует ее преждевременному выходу из строя.

Автором предложено использовать индукционный эффект для прогрева пустотелых железобетонных конструкций, например сборных колодцев для систем водоснабжения или водоотведения и др.

Предлагаемое устройство представлено на рисунке 1, а – продольный разрез и на рисунке 1, б – вид сверху.

На данное устройство получен патент на изобретение [11].

Устройство для термообработки пустотелых бетонных и железобетонных изделий состоит из П-образного перевернутого вертикально магнитопровода 1, закрепленного в фундаменте 2. На стержень 3 устанавливается утепленная стальная (ферромагнитная) опалубка для пустотелых бетонных и железобетонных изделий 4 (далее стальная опалубка) со свежееуложенным бетоном 5. Вертикальный стержень 6 через шарнир 7 соединен с магнитопроводным якорем 8. На вертикальный стержень 6 магнитопровода 1 намотана намагничивающая обмотка из изолированного кабеля (далее соленоид) 9, которая подключается к источнику переменного тока 10 через рубильник 11 и далее связана с магнитным пускателем 12, который, в свою очередь, связан с автоматическим потенциометром 13, соединенным термопарой 14 со свежееуложенным бетоном 5 в центре его толщины.

Электротехнические параметры – сечение кабеля, количество его витков устанавливается специальным электрическим расчетом в зависимости от объема прогреваемого бетона и режима электрообработки свежееуложенного бетона. Компенсацию реактивной мощности следует осуществлять, как обычно, с помощью конденсаторов [12].

Устройство работает следующим образом. Утепленная стальная (ферромагнитная) опалубка для пустотелых бетонных и железобетонных изделий 4 со свежееуложенным бетоном 5 устанавливается на фундамент 2 при поднятом на достаточное расстояние магнитопроводном якорю 8, позволяющим установить стальную опалубку 4 со свежееуложенным бетоном 5, таким образом, что вертикальный стержень 3 магнитопровода 1 оказывается в полости стальной опалубки 4 со свежееуложенным бетоном 5, стальная опалубка 4 устанавливается на стержень 3 магнитопровода 1, а не на вертикальный стержень 6 магнитопровода 1 где намотана намагничивающая обмотка из изолированного кабеля (далее соленоид) 9 для предоотвращения его перегрева от нагретой стальной опалубки 4. Далее магнитопроводный якорь 8 опускается на стержень 3, тем самым замыкая систему магнитопровода 1, после этого подключается переменный электрический ток из его источника 10 при замыкании рубильника 11, который проходит через магнитный пускатель 12 и намагничивающей обмотки из изолированного кабеля 9 (далее соленоид).

После замыкания якоря 8 магнитопровода, при прохождении переменного тока в соленоиде 9, появляется переменный электромагнитный поток, который проходит по замкнутому якорю

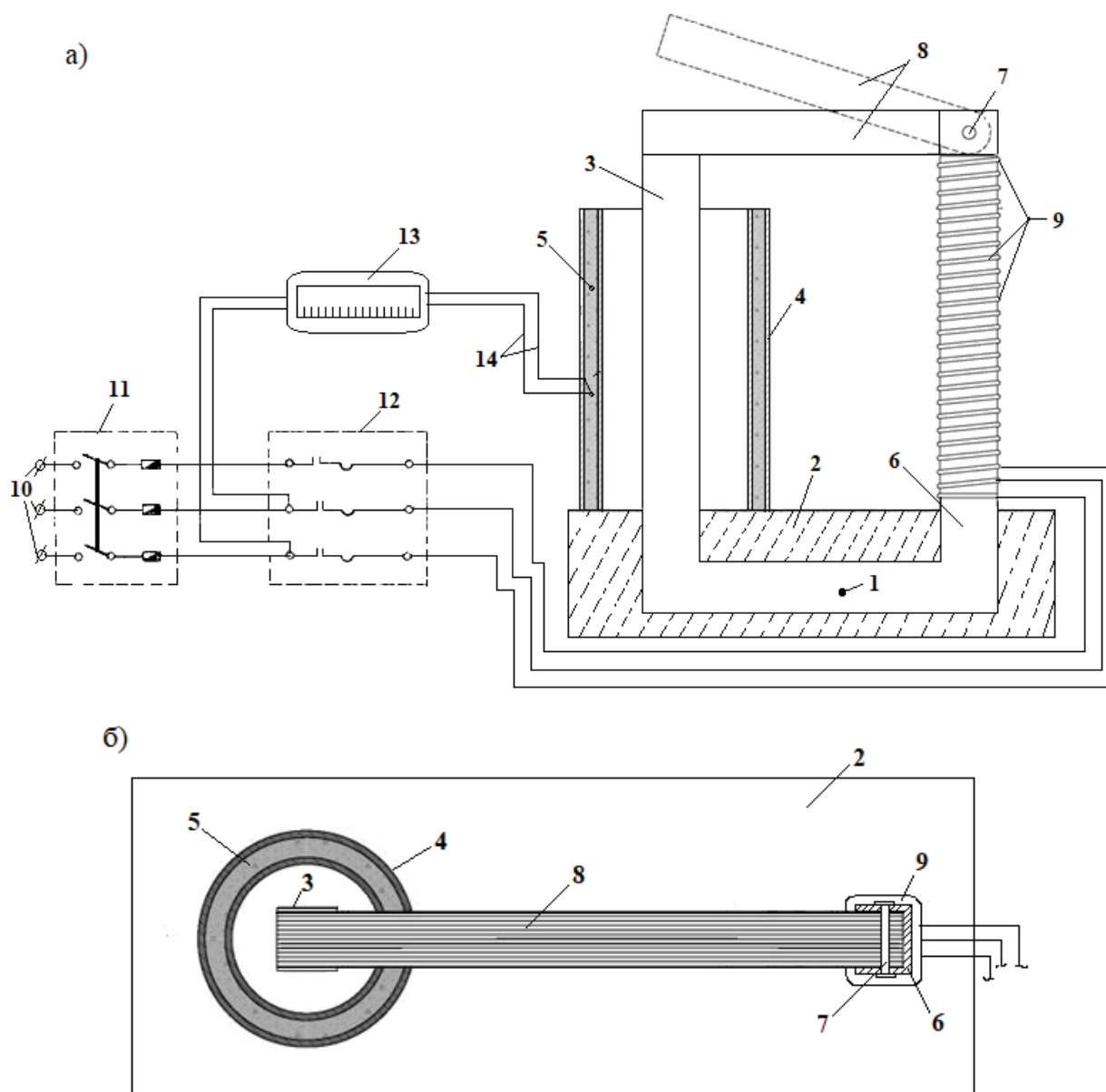


Рисунок 1 – а) продольный разрез установки для тепловой обработки пустотелых железобетонных изделий; б) вид сверху установки: 1 – П-образный перевернутый вертикальный магнитопровод; 2 – фундамент; 3 – стержень; 4 – утепленная стальная (ферромагнитная) опалубка для пустотелых бетонных и железобетонных изделий; 5 – свежесуложенный бетон; 6 – вертикальный стержень; 7 – шарнир; 8 – магнитопроводный якорь; 9 – обмотка из изолированного кабеля (соленоид); 9 – источник переменного тока; 11 – рубильник; 12 – магнитный пускатель; 13 – автоматический потенциометр; 14 – термопара

8 магнитопроводу 1 и доходя до стержня 3 магнитопровода 1 за счет индукционного эффекта нагревает стальную опалубку 4 за счет вихревых токов в ней и тепло от нагретой опалубки 4 кондуктивно передается бетону 5 и способствует ускорению его твердения, а также частично нагревается короткозамкнутая арматура в бетоне 5 пустотелого изделия, которая дает дополнительное тепло свежесуложенному бетону 5.

Режим термообработки свежесуложенного бетона 5 регулируется автоматическим потенциометром 13 через термопары 14, которые установлены в середине свежесуложенного бетона 5. Магнитный пускатель при достижении требуемой температуры, включая и выключая систему, держит требуемую по расчётному режиму необходимую температуру.

Чтобы система установки работала эффективно, зазор между магнитопроводом и опалубкой должен быть минимальным, но достаточным для ее установки и снятия и требуемого воздействия электромагнитного поля на стальную (ферромагнитную) утепленную опалубку 4.

Поступила: 12.01.2026; рецензирована: 23.01.2026; принята: 26.01.2026.

Литература

1. Кувалдин А.Б. Индукционный нагрев ферромагнитной стали / А.Б. Кувалдин. М.: Энергоатомиздат, 1988. 200 с: ISBN5-283-02443-1.
2. Данилушкин В.А. Моделирование процесса периодического индукционного нагрева кольцевых заготовок в прямоугольном индукторе / В.А. Данилушкин, Д.В. Колпаков, И.Е. Пичкуров, Е.Е. Штемпель // Современные материалы, техника и технологии. 2022. № 5 (44). С. 10–13. DOI 10.47581/2022/МТО-67/DANILUSHKIN.01].
3. Фомин Н.И. Электрические печи и установки индукционного нагрева / Н.И. Фомин, Л.М. Затуловский. М.: Металлургия, 1979. 247 с.
4. Огарков Е.М. Расчетная модель индукционного нагревателя для нефтяных скважин / Е.М. Огарков, Е.С. Вильданов // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2016. № 17. С. 5–15.
5. Лекомцев П.Л. Разработка и исследование характеристик индукционной электронагревательной установки / П.Л. Лекомцев, Н.Л. Олин, Л.П. Артамонова // The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy. 2025. № 2 (82). С. 161–168.
6. Захаров И.Б. Анализ факторов, воздействующих на реактивную мощность цилиндрической системы “индуктор – нагрузка” / И.Б. Захаров // Наука и техника Казахстана. 2001. № 2. С. 165–173.
7. Действующие тарифы на тепловую энергию и горячую воду с 01.06.2025 г. / Муниципальное предприятие «Бишкектеплосеть». URL: <http://www.teploseti.kg/content/article/60-tarify> (дата обращения: 1.12.2025).
8. Руководство по электротермообработке бетона. М.: Стройиздат, 1974. 255 с. (Науч.-исслед. ин-т бетона и железобетона Госстроя СССР).
9. Авт. свидетельство SU № 387538. Индуктор для термообработки железобетонных труб / Автор С.М. Трембицкий. Всесоюзный научно-исследовательский институт заводской технологии сборных железобетонных конструкций и изделий. Заявка № 1639905/24-7. Заявлено 24.03.1971. Опубликовано 21.06.1973. Бюл. № 27. 2 с.
10. Авт. свидетельство SU № 283875. МПК С 04 b 41/30. Устройство для термообработки пустотелых железобетонных и бетонных изделий / Н.Н. Данилов, Б.М. Красновский, М.Ш. Тулемышев, Б.Л. Беленький, А.Л. Касс. МИСИ им. В.В. Куйбышева. Заявка № 1334919/29-33. Заявлено 21.5.1969. Опубликовано. 06.10.1970. Бюл. № 31. 2 с.
11. Патент KG № 2318. МПК B28B 11/24 (2022.01). Устройство для термообработки пустотелых бетонных и железобетонных изделий / Автор Акматов А.К. Заявлено 05.10.2021. Опубликовано 30.11.2022 г. Бюл. № 12. URL: <http://patent.gov.kg/wp-content/uploads/2023/01/%D0%98%D0%9C-122022.pdf> (дата обращения: 04.01.2026).
12. Константинов Б.А. Компенсация реактивной мощности / Б.А. Константинов, Г.В. Зайцев. Л.: Энергия, 1976. 104 с.