

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ПАВЛОДАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. С.ТОРАЙГЫРОВА



3'2003

НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА



КАЗАХСТАН
ҒЫЛЫМЫ МЕН ТЕХНИКАСЫ

МАЗМҰНЫ

ЖАРАТЫЛЫСТАНУ ҒЫЛЫМДАРЫ

В.В. Рындин, Д.В. Рындина
Термодинамикада қолданылатын физикалық өлшемдер туралы 7

Б.Т. Әббрахманов, В.И. Фандюшин
Гуманитарлықтар үшін математика және информатика жөнінде 19

Е.С. Мұстафин, Б.К. Қасенов, Ж.И. Сағынтаева, Ж.С. Бектұрғанов, Е.К. Жұмаділов, А. Нухұлы, М.А. Исабаева
NdMe⁺CaMn₂O₈ (Me⁻=Li, Na, K, Cs) магниттерінің рентгенографиялық зерттелуі 23

В.В. Рындин
Философиялық және физикалық заңдардың сақталуы... 26

Б.У.Садық, В.М.Юров
Эпоксиполимерлердің органикалық бояулармен оптикалық спектрлері 38

Б.Н. Сатбаев
Ыстыққа төзімді қорытпалар мен композициялық құралдарды өндірудің ерекшеліктері 45

Г. Хабдолда, Д. Жантөрина, А. Кәрібаева, К. Аянбергенов
Шабұылдаушы хлор ионының (он) ең ықтимал бағыты 50

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Нухұлы А., д.х.н., проф. (*главный редактор*)
 Утегулов Б.Б., д.т.н., проф. (*зам. гл. редактора*)
 Ельмуратова А.Ф., к.т.н., доц. (*отв. секретарь*)
 Члены редакционной коллегии:
 Бойко Ф.К., д.т.н., проф.
 Газалиев А.М., д.х.н., проф., член-корр. НАН РК
 Гамарник Г.Н., д.т.н., проф.
 Глазырин А.И., д.т.н., проф.
 Дауксев Г.Ж., к.т.н., проф.
 Ергожин Е.Е., д.х.н., проф., академик НАН РК
 Кислов А.П., к.т.н., доц.
 Кисель М.Я., д.т.н., проф.
 Кудерин М.К., к.т.н., доц.
 Мансуров З.А., д.х.н., проф.
 Мурзагулова К.Б., д.х.н., проф.
 Пивень Г.Г., д.т.н., проф.
 Сагитов А.С., д.т.н., проф., академик НАН РК
 Сулесев Д.К., к.т.н., проф.
 Сейтахметова Г.Н. (*тех. редактор*)

Адрес редакции:
 637034, г. Павлодар,
 ул. Ломова, 64.
 Тел.: (3182) 45-11-43
 (3182) 45-38-60
 Факс: (3182) 45-11-23
 E-mail: publish@psu.kz
 nauka@psu.kz

С. Торайғыров
 академик НАН РК
 ПМУ-дің
 академик С.Бейсембаев
 атындағы ғылыми
 КІТАПХАНАСЫ

УДК 621.365.5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОАКСИАЛЬНЫХ ИНДУКЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЧИСТКИ И НАГРЕВА ЖИДКОСТЕЙ

К.В. Хацевский

Павлодасский государственный университет им. С. Торайгырова

В.С. Чередниченко

Новосибирский государственный технический университет

Аталмыш жұмыста сұйықтарды өңдеудің индукциялық жылыту жүйе жерін пайдалану мәселесі қарастырылған және жылытылатын ортада термохимиялық үрдістерге талдау жасалған.

В настоящей работе рассмотрены вопросы использования индукционных нагревательных систем для обработки жидкостей и приведен анализ термохимических процессов в нагреваемой среде.

The questions about use of induction heating systems for processing liquids and the analysis thermochemical processes in heated up environment are given in this paper.

Применение индукционных систем с коаксиальными цилиндрами для нагрева воды позволяет одновременно с нагревом снижать соленосодержание в нагреваемой воде за счет интенсификации химикотермических процессов в электромагнитном поле с получением нерастворимых порошковых продуктов из веществ, растворенных в воде. Общий анализ рабочих режимов обработки жидкости в рассматриваемых устройствах позволил выделить три одновременно протекающих взаимосвязанных процесса: 1) движение и нагрев жидкости в рабочем объеме за счет перепада давлений жидкости на входе и выходе устройства; 2) нагрев и конвективное движение жидкости при взаимодействии непосредственно с нагревающей поверхностью (нагрев в температурной области без насыщения, нагрев при объемном или поверхностном кипении с одновременным протеканием термохимических процессов); 3) движение нагреваемой жидкости за счет объемнораспределенных электромагнитных сил, действующих локально на парапроводящую смесь в рабочем пространстве индукционных систем

нагрева (электромагнитное вихревое перемешивание), с одновременной интенсификацией термохимических процессов в электромагнитном поле. Рассмотрим последовательно эти три процесса.

Принудительное движение жидкости за счет перепада давлений на входе и выходе нагревательного устройства определяет циркуляцию потока жидкости и интегральный теплообмен с коаксиальными цилиндрами. Теплообмен жидкости с нагревающими цилиндрами определяется законом Ньютона и, следовательно, коэффициентом теплоотдачи. Коэффициент теплоотдачи в этом случае зависит от целого ряда факторов: температур теплоотдающей (t_1) и тепловоспринимающей (t_2) сред, формы и геометрических размеров нагревающих стенок, характера движения жидкости, физических свойств жидкости (теплоемкости (c), теплопроводности (λ), плотности (ρ), вязкости (η), скорости ($V_{ж}$) и электродинамических сил, возникающих при взаимодействии электропроводной воды с электромагнитным полем.

Взаимодействие жидкости с нагревающей поверхностью зависит от удельной плотности теплового потока при теплообмене и определяет характер движения жидкости непосредственно около поверхности нагрева (объемное или поверхностное кипение, нагрев без парообразования). Величина теплового потока, поступающего в жидкость, в свою очередь, определяется тепловыделением в короткозамкнутых витках индукционной системы нагрева и оценивается на основе решения уравнения теплопроводности с внутренними источниками тепла. Кинетика химикотермических процессов, протекающих в жидкости при ее нагреве, зависит от скорости нагрева и характера процессов, развивающихся в поверхностных слоях, и могут рассматриваться как оптимизационные параметры для процессов снижения солевого содержания в теплоносителе.

Неогъемлемым свойством любой индукционной системы нагрева является наличие интенсивных электромагнитных полей, которые определяют не только интенсивность преобразования электрической энергии в тепловую, но и магнитогидродинамические явления непосредственно в нагреваемой жидкости с преобразованием части электрической энергии в механическую и, как следствие, в электрохимическую при интенсификации химикотермических процессов. Взаимосвязи этих процессов изучены недостаточно, а исследовать их экспериментально в пространстве индукционной системы нагрева воды практически невозможно. Поэтому потребовалось разработать расчетно-экспериментальный метод оценки режимов работы индукционных систем нагрева воды с одновременным снижением ее солевого содержания.

Одновременность протекания термохимических и теплофизических взаимодействий в нагреваемой воде определяет необходимость изучения влияния на эти процессы напряженностей электромагнитного поля и электродинамических сил, возникающих в гидродинамических потоках нагреваемой воды. В качестве модельного объекта исследований будем рассматривать водопроводную воду со стандартным содержанием $6...7$ мг-экв/кг.

Направленность термохимических процессов и интенсивность их протекания можно оценить на основе анализа эксплуатационных характеристик наиболее распространенных на практике систем нагрева воды. Отопительные электроустановки, выпускаемые промышленностью, обеспечивают нагрев воды при плотностях теплового потока $(4...8) \cdot 10^4$ Вт/м². Длительность безремонтного периода работы такой системы на основе трубчатых электронагревателей (ТЭН) ограничивается скоростью роста отложений (накипи) на поверхности нагревателя и при толщине отложений в 0,5 мм составляет 800...1000 часов. Электродные электродкотлы, в которых нагрев воды осуществляется за счет пропускания через воду электрического тока сохраняют свои нагрузочные характеристики в течение 80...100 часов. Затем происходит снижение мощности из-за накопления на электродах отложений. Эти же процессы формирования отложений протекают в любой теплосети, включая системы централизованного теплоснабжения от ТЭЦ и котельных.

Химический анализ отложений показывает, что к основным составляющим относятся карбонатные соединения $(Ca, Mg, Fe)CO_3$, сульфатные $CaSO_4 \cdot 3H_2O$, оксиды железа в различных формах (гидроокиси $Fe(OH)_3$, $Fe(OH)_2$, гематиты Fe_2O_3 , вюситы FeO), шпинелиды, магнетиты Fe_3O_4 . Силикаты в отложениях встречаются как в виде безводных соединений, так и в виде гидратированных молекул.

Коррозионная агрессивность воды определяется содержанием диоксида углерода CO_2 , кислорода O_2 , сероводорода H_2S , окислов железа и ионов Cl^- и SO_4^{2-} . Химический состав воды в системах отопления может изменяться в процессе эксплуатации за счет коррозии металла труб в теплосети, взаимодействия воды с воздухом и поступлением добавочной воды. Поэтому несмотря на расход солей в процессе накипеобразования и формирования отложений в трубах, радиаторах и на нагревателях коррозионная способность воды самовосстанавливается, а формирование отложений происходит непрерывно. Этому способствуют реакции окисления железа с образованием бикарбоната: $Fe + 2CO_2 + 2H_2O = Fe(HCO_3)_2 + H_2$, с последующим

образованием оксидов железа и вторичной двуокиси углерода:
 $4\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2 + \text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$.

Проведенный анализ химико-термических процессов накипеобразования в замкнутых системах отопления показал, что особенно перспективным является создание устройства, которое бы не только обеспечивало нагрев воды, но и интенсифицировало проведение рассмотренных химических реакций до скоростей, превышающих скорость восстановления коррозионных способностей воды, с получением нерастворимых соединений в объеме нагреваемой воды без осаждения продуктов реакции на каких-либо поверхностях.

Проведенные исследования на кафедрах «Автоматизация технологических процессов и электропривод» Павлодарского государственного университета и «Электротехнологические установки» Новосибирского государственного технического университета показали, что такой практический результат возможно получить при реализации электронагрева в режимах поверхностного кипения в индукционных системах с движущимися слоями воды, если обеспечить необходимые критические тепловые потоки и напряженности электромагнитного поля. Взаимодействие пароводяной смеси с электромагнитным полем, величина электродинамических сил, возникающих при этом взаимодействии, во многом определяются электропроводностью этой смеси, которая зависит от интенсивности теплофизических режимов нагрева воды.