

Краткие сообщения

УДК 541.123.3:543.226

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ В ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ И ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

И.К. Гаркушин, А.А. Шамитов, И.А. Журавлёв, А.В. Колядо

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: baschem@samgtu.ru, ivan_9687@mail.ru

*Для оптимизации разработки новых теплопередающих и теплоаккумулирующих материалов предложен метод прогнозирования фазовых равновесий в трехкомпонентных системах, базирующийся на теории идеальных растворов. Для апробации метода были выбраны системы *n*-тетрадекан – *n*-докозан – циклододекан и *n*-тетрадекан – *n*-докозан – тетрахлорэтилен. Экспериментально выбранные системы были исследованы проекционно-термографическим методом с помощью микрокалориметра теплового потока. Отмечена удовлетворительная сходимость расчетных данных с экспериментом.*

Ключевые слова: *n*-алкан, тетрахлорэтилен, теплоноситель, теплоаккумулирующий материал.

В настоящее время все более широкое применение в промышленности находят теплоносители и теплоаккумулирующие материалы на основе композиций из предельных углеводородов, в том числе и алканов нормального строения. Разработка новых теплопередающих и теплоаккумулирующих материалов приводит к необходимости изучения фазовых равновесий в системах различной мерности. Как известно, трудоемкость при исследовании фазовых равновесий многократно возрастает с увеличением мерности системы, поэтому актуальной является задача по разработке методов расчета температур плавления и составов эвтектик [3-5].

При выборе новых объектов достаточно трудно оценить один из значимых параметров системы – межмолекулярное взаимодействие между ее отдельными компонентами. Существующие корреляции на основе современных моделей UNIFAC, ASOG и др., как правило, показывают недостоверные результаты в области отрицательных температур [1], т. к. параметры межмолекулярного взаимодействия этих моделей определены для температур более 293 К. С использовани-

Иван Кириллович Гаркушин (д.х.н., проф.), заведующий кафедрой «Общая и неорганическая химия»).

Александр Анатольевич Шамитов, аспирант.

Иван Анатольевич Журавлёв, аспирант.

Александр Владимирович Колядо, аспирант.

ем данных по индивидуальным компонентам системы и математического аппарата, разработанного в рамках теории идеальных растворов [2], предложен следующий метод расчета фазовых равновесий в трехкомпонентных системах, индивидуальные компоненты которых в рассматриваемой области температур не претерпевают полиморфных превращений.

Для определения температуры плавления эвтектики T_e в трехкомпонентной системе минимизировалась целевая функция

$$f(T_e) = \left| 1 - \sum_{i=1}^3 \exp\left(\frac{\Delta_m H_i (T_e - T_i)}{RT_i T_e}\right) \right|,$$

где $\Delta_m H_i$ – энтальпия плавления компонента i , Дж/моль;

T_i – температура плавления компонента i , К;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К).

Мольная доля компонента j в сплаве эвтектического состава определялась из соотношения

$$x_j = \exp\left(\frac{\Delta_m H_j (T_e - T_j)}{RT_i T_e}\right) : \sum_{i=1}^3 \exp\left(\frac{\Delta_m H_i (T_e - T_i)}{RT_i T_e}\right).$$

Результаты расчета для трехкомпонентных систем $n\text{-C}_{14}\text{H}_{30} - n\text{-C}_{20}\text{H}_{42} - \text{C}_{12}\text{H}_{24}$ и $n\text{-C}_{14}\text{H}_{30} - n\text{-C}_{20}\text{H}_{42} - \text{C}_2\text{Cl}_4$ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные данные для сплавов эвтектического состава в системах $n\text{-C}_{14}\text{H}_{30} - n\text{-C}_{20}\text{H}_{42} - \text{C}_{12}\text{H}_{24}$ и $n\text{-C}_{14}\text{H}_{30} - n\text{-C}_{20}\text{H}_{42} - \text{C}_2\text{Cl}_4$

Содержание компонентов в сплаве эвтектического состава								Температура плавления T_e	
$n\text{-C}_{14}\text{H}_{30}$		$n\text{-C}_{20}\text{H}_{46}$		$\text{C}_{12}\text{H}_{24}$		C_2Cl_4			
мол. %	мас. %	мол. %	мас. %	мол. %	мас. %	мол. %	мас. %	К	°С
63,57	65,71	3,95	5,81	32,48	28,48	–	–	272,66	-0,49
7,83	9,19	0,23	0,38	–	–	91,94	90,43	246,68	-26,47

Данные по двухкомпонентным системам, входящим в исследуемые трехкомпонентные системы, были ранее получены авторами и опубликованы в работах [1, 6–9]. Экспериментальные исследования фазовых превращений в системах проводили проекционно-термографическим методом [3, 5] с использованием микрокалориметра теплового потока [10]. В трехкомпонентных системах были исследованы политермические разрезы АВ, CD (рис. 1) и FG, KM (рис 2). По данным термического анализа изученные системы относятся к системам эвтектического типа. В системе $n\text{-C}_{14}\text{H}_{30} - n\text{-C}_{20}\text{H}_{42} - \text{C}_{12}\text{H}_{24}$ сплав эвтектического состава содержит 70,0 мас. % $n\text{-C}_{14}\text{H}_{30}$; 2,3 мас. % $n\text{-C}_{20}\text{H}_{46}$; 27,7 мас. % $\text{C}_{12}\text{H}_{24}$ и кристаллизуется при температуре $-1,8$ °С; в системе $n\text{-C}_{14}\text{H}_{30} - n\text{-C}_{20}\text{H}_{46} - \text{C}_2\text{Cl}_4$ эвтектический состав кристаллизуется при температуре $-25,4$ °С и содержит 9,5 мас. % $n\text{-C}_{14}\text{H}_{30}$; 0,3 мас. % $n\text{-C}_{20}\text{H}_{42}$; 90,2 мас. % C_2Cl_4 .

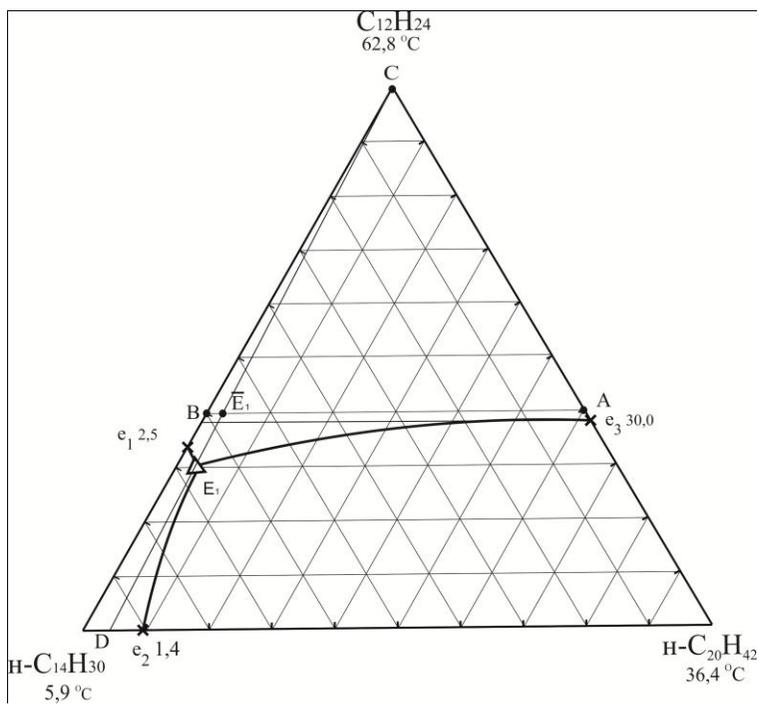


Рис. 1. Фазовая диаграмма системы $n\text{-C}_{14}\text{H}_{30} - n\text{-C}_{20}\text{H}_{42} - \text{C}_{12}\text{H}_{24}$

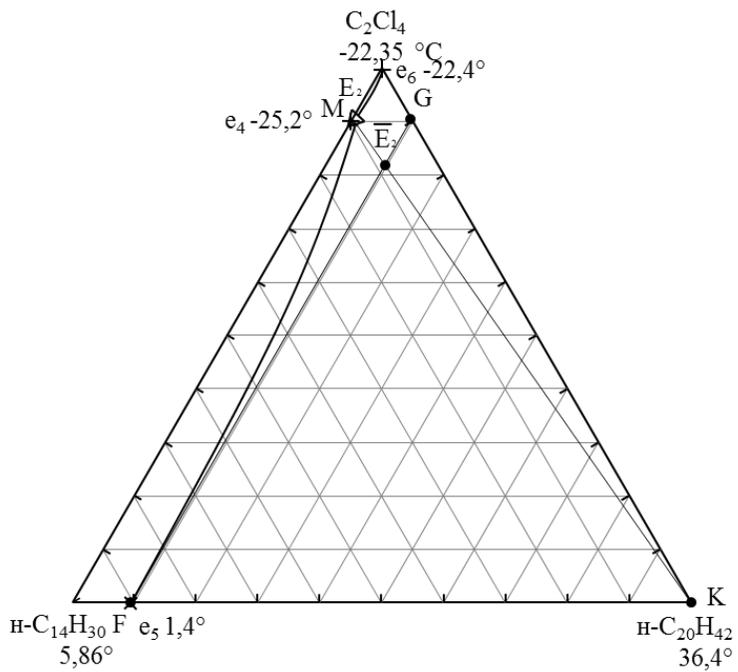


Рис. 2. Фазовая диаграмма системы $n\text{-C}_{14}\text{H}_{30} - n\text{-C}_{20}\text{H}_{42} - \text{C}_2\text{Cl}_4$

Расчетные характеристики сплавов эвтектического состава

Расчетные данные для сплава эвтектического состава					Экспериментальные данные для сплава эвтектического состава				
Содержание компонента, мас. %				$t_e, ^\circ\text{C}$	Содержание компонента, мас. %				$t_e, ^\circ\text{C}$
$\text{C}_{14}\text{H}_{30}$	$\text{C}_{20}\text{H}_{42}$	$\text{C}_{12}\text{H}_{24}$	C_2Cl_4		$\text{C}_{14}\text{H}_{30}$	$\text{C}_{20}\text{H}_{42}$	$\text{C}_{12}\text{H}_{24}$	C_2Cl_4	
65,71	5,81	28,48	–	-0,49	70,0	2,3	27,7	–	-1,8
9,19	0,38	–	90,43	-26,47	9,5	0,3	–	90,2	-25,4

Анализ полученных расчетных и экспериментальных данных, представленных в табл. 2, показывает, что прогнозирование фазовых равновесий в системах с участием н-тетрадекана, н-эйкозана, циклододекана и тетрахлорэтилена возможно с помощью математического аппарата, разработанного в рамках теории идеальных растворов. Разработанный метод прогноза позволяет оптимизировать поиск и разработку новых теплопередающих и теплоаккумулирующих материалов.

Выводы:

1. Система н-тетрадекан – н-эйкозан – циклододекан относится к системам эвтектического типа, сплав эвтектического состава содержит 2,3 мас. % $\text{C}_{20}\text{H}_{46}$; 70,0 мас. % $\text{C}_{14}\text{H}_{30}$; 27,7 мас. % $\text{C}_{12}\text{H}_{24}$ и имеет температуру кристаллизации $-1,8 ^\circ\text{C}$.

2. Система н-тетрадекан – н-эйкозан – тетрахлорэтилен относится к системам эвтектического типа, эвтектика кристаллизуется при температуре $-25,4 ^\circ\text{C}$ и содержит 0,3 мас. % $\text{C}_{20}\text{H}_{46}$; 9,5 мас. % $\text{C}_{14}\text{H}_{30}$; 90,2 мас. % C_2Cl_4 .

3. Сплавы, отвечающие эвтектическим составам в системах н- $\text{C}_{14}\text{H}_{30}$ – н- $\text{C}_{20}\text{H}_{46}$ – $\text{C}_{12}\text{H}_{24}$ и н- $\text{C}_{14}\text{H}_{30}$ – н- $\text{C}_{20}\text{H}_{46}$ – C_2Cl_4 , могут быть использованы в качестве среднетемпературного теплоносителя гелиоэнергетических установок с температурой эксплуатации от 0 до $240 ^\circ\text{C}$ и от -25 до $120 ^\circ\text{C}$ соответственно.

4. Предлагаемый метод прогнозирования фазовых равновесий в трехкомпонентных системах эвтектического типа может быть использован для оптимизации поиска и разработки новых теплопередающих и теплоаккумулирующих материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаркушин И.К., Колядо А.В., Дорохина Е.В. Расчет и исследование фазовых равновесий в двойных системах из органических веществ. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – 191 с.
2. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей: Справ. пособие / Пер. с англ. под ред. Б.И. Соколова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1982. – 592 с., ил. – Нью-Йорк, 1977.
3. Гаркушин И.К., Кондратюк И.М., Егорцев Г.Е., Истомова М.А. Теоретические и экспериментальные методы исследования многокомпонентных систем: Учеб. пособие. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. – 125 с. – Ил.
4. Мощенская Е.Ю., Гаркушин И.К., Фролов Е.И. Расчет составов и температур плавления эвтектик в тройных системах: Учеб. пособие. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 112 с.
5. Гаркушин И.К., Истомова М.А., Демина М.А., Колядо А.В. Курс физико-химического анализа: Учеб. пособие. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 352 с. – Ил.
6. Гаркушин И.К., Агафонов И.А., Копнина А.Ю., Калинина И.П. Фазовые равновесия в си-

- стемах с участием n-алканов, циклоалканов и аренов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 127 с.
7. *Гаркушин И.К., Колядо А.В., Дорохина Е.В.* Расчет и исследование фазовых равновесий в двойных системах из органических веществ. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – 191 с.
 8. *Петров Е.П., Журавлев И.А.* Исследования фазовых равновесий в системе n-тетрадекан – циклододекан // Международное Курнаковское совещание по физико-химическому анализу: Сб. тр. в 2 т. – Т. 2. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 332 с.
 9. *Журавлев И.А., Колядо А.В., Гаркушин И.К.* Исследования фазовых равновесий в системах с участием тетрахлорэтилена и некоторых n-алканов // Башкирский химический журнал. – 2014. – Т. 21. – № 3. – С. 114-120.
 10. *Моценский Ю.В.* Дифференциальный сканирующий колориметр ДСК 500 // Приборы и техника эксперимента. – 2003. – № 6. – С. 143.

Статья поступила в редакцию 8 декабря 2014 г.

USING PREDICTION PHASE EQUILIBRIA IN THREE-COMPONENT SYSTEMS FOR OPTIMIZATION OF DEVELOPING NEW HEAT TRANSFER AND HEAT-RETAINING MATERIALS

I.K. Garkushin, A.A. Shamitov, I.A. Zhuravlev, A.V. Kolyado

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russia

To optimize the development of new heat transfer and heat storage materials proposed method of predicting the phase equilibria in three-component systems based on the theory of ideal solutions. For the validation of the method were chosen system of n-docosane - cyclododecane - n-tetradecane and n-tetradecane - n docosane - tetrachloroethene. Experimentally selected systems were investigated projection-thermographic method using heat flow microcalorimeter. Recorded a satisfactory convergence of calculated and experimental data.

Keywords: n-alcane, tetrachloroethene, coolant, heat storage material.

*Ivan K. Garkushin (Dr. Sci. (Chem.)), Professor.
Alexander A. Shamitov, Postgraduate Student.
Ivan A. Zhuravlev, Postgraduate Student.
Alexander V. Kolyado, Postgraduate Student.*

УДК 669.71

ВОЗМОЖНЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ИНДУКТОРОВ***А.С. Егизарян***Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: epp@samgtu.ru

Рассмотрены подходы к проектированию индукционных нагревательных установок (ИНУ). Отмечено, что расчет конструкции индуктора надо проводить с учетом параметров нагреваемой заготовки и деформирующего оборудования. При этом описание электромагнитного поля возможно в трех эквивалентных формах, а именно в виде дифференциальных и интегральных уравнений и вариационных принципов. Проведен сравнительный анализ аналитических и численных методов и методов физического моделирования. Указано, что преимущество аналитического решения заключается в возможности применения хорошо разработанного аппарата эквивалентных преобразований. Рассмотрены возможные аспекты постановки задач проектирования и их влияние на конечный результат проекта. Отмечается, что многие проблемы решаются путем создания специализированной САПР ИНУ.

Ключевые слова: индуктор, моделирование, метод, уравнения, электромагнитное поле, поверхностный эффект, оптимизация.

К проблеме проектирования электротермических процессов можно подойти с «глобальной» точки зрения и со стороны отдельных частных задач. Глобальный подход – рассмотрение индукционного нагрева как части неразрывного производственного комплекса, состоящего из выработки и передачи электроэнергии, индукционного нагрева, производства полуфабрикатов, механической обработки и изготовления. Эффективное проектирование такого комплекса состоит в оптимальном синтезе процессов и оборудования, его составляющих, с целью получения максимального приведенного дохода.

Например, в случае индукционного нагрева металла под деформацию такая задача математически может быть представлена в многокритериальной форме

$$I_g(X) = \{I_1(X), I_2(X), \dots, I_k(X)\} \rightarrow \max_{X \in D};$$

$$D: h_j(X) \geq 0; \quad j = 1, 2, \dots, m.$$

Здесь $I_i(X)$, ($i = 1, 2, \dots, k$) – критерии, определяющие величину дохода (капитальные и текущие издержки за год функционирования, производительность, стабильность экономических показателей и др.). $h_j(X)$ – ограничения (качество производства, финансовые и материальные ресурсы, экономические нормы и требования охраны труда, ограничения на площади и т. д.), которые определяют границы области D возможных изменений решения X . Решение представляет собой вектор параметров и функций, отражающих структуру и количественные характеристики системы электроснабжения электротермического участка, ос-

Работа поддержана грантом РФФИ № 15-08-0305.

Александра Сергеевна Егизарян, старший преподаватель кафедры «Электро-снабжение промышленных предприятий».

новые конструктивные параметры нагревателей и режим их работы, скорость прессования, режим прокатки и прочие параметры механической обработки нагретого металла.

Из формулировки задачи хорошо видно, что оптимизировать весь процесс производства как единое целое – практически неразрешимая задача. С другой стороны, решение частных задач вне связи друг с другом, например расчет конструкции индуктора без учета параметров нагреваемой заготовки и деформирующего оборудования, разумеется, не даст практически полезных результатов. Конечной целью изучения переноса энергии в электромагнитном поле является определение плотности потока энергии (вектора Пойнтинга) и распределения выделяемой в металле мощности как функций пространственных координат и времени. Однако в электродинамике нет уравнений, из которых можно непосредственно найти плотность потока энергии в заданной системе тел. Чтобы вычислить значение вектора Пойнтинга в некоторой точке, необходимо предварительно определить напряженности электрического и магнитного полей.

Описание поля можно дать в трех эквивалентных формах, а именно в виде дифференциальных и интегральных уравнений и вариационных принципов. Дифференциальные уравнения выражают только локальные свойства поля. Поэтому для получения однозначного решения они должны быть дополнены краевыми (начальными и граничными) условиями. Интегральные уравнения охватывают всю проблему в целом, включая как локальные, так и дальние взаимодействия (в том числе краевые условия). Наконец, вариационные принципы утверждают, что некоторые величины, характерные для данной проблемы, при действительной эволюции системы достигают наименьшего (или наибольшего) значения в сравнении с любой другой эволюцией.

Расчет индукторов для нагрева заготовок в электромагнитном поле преследует двоякую цель: найти распределение выделяемой в металле энергии и согласовать параметры источника питания и нагрузки. В настоящее время первая часть расчета обычно решается в прямой постановке, а именно: заданы геометрические и физические параметры индуктора и заготовки, а также ток (или напряжение) в цепи питания; определяется плотность наведенных токов и распределение выделяемого джоулева тепла. Наибольший интерес представляют математические методы решения этой задачи в обратной постановке (задано требуемое распределение выделяемой энергии, определяется форма и размеры индуктора).

Если же описание алгоритма составлено с информационной целью, т. е. для ознакомления с особенностями вычислительного процесса, то оно должно состоять не из элементарных, а из достаточно содержательных операций. Такого рода описанием являются блок-схемы (графическое изображение структуры алгоритма) и операторные схемы. Операторная схема счета, дополненная специальными операторами управления, обеспечивающими автоматическое выполнение вычислительного процесса, образует логическую схему программы.

Конечный результат аналитического решения задачи, т. е. формулу, можно трактовать, вообще говоря, как сжатое символическое обозначение вычислительного алгоритма. Преимущество аналитического решения заключается в возможности применения хорошо разработанного аппарата эквивалентных преобразований. В этом случае сложный исходный алгоритм (соответствующий, например, дифференциальным или интегральным уравнениям) сводится к значительно более простому – к формуле, содержащей элементарные или специальные, но

хорошо табулированные функции [1].

Индукторы можно исследовать путем расчетов и моделирования – математического или физического. Физические методы моделирования осуществляются главным образом с сохранением природы изучаемых явлений в условиях геометрического подобия (или на натуральных образцах). К моделированию обычно прибегают в двух случаях: либо когда система настолько проста, что нет необходимости в расчетах, либо, напротив, когда теоретические методы оказываются бессильными ввиду особой сложности задачи. Результаты расчета индуктора могут быть представлены в аналитическом (формульном) или алгоритмическом виде.

Преимущество формульного решения – компактность и наглядность, алгоритмического – большая общность. Формульные решения уравнений электродинамики, например для пластины, цилиндра или сферы, имеют совершенно различный вид, так как выражаются через тригонометрические, цилиндрические и сферические функции соответственно. Алгоритмическое же решение во всех этих трех случаях представлено общей операторной схемой.

Однако общее достаточно точное решение для неравномерно нагретых металлических тел (особенно при слабом проявлении поверхностного эффекта) может быть представлено только рекурсивной функцией, т. е. функцией от системы заданных величин, вычисляемых с помощью фиксированного алгоритма.

При оценке степени проявления поверхностного эффекта единицей масштаба служит глубина проникновения тока – параметр, который зависит от свойств и поля (частота), и металла (магнитная проницаемость, электрическое сопротивление). Например, в круговом цилиндре, где токи текут в плоскостях, перпендикулярных оси, характерный размер равен половине радиуса, в длинной пластине – половине ее толщины. Оценка степени проявления поверхностного эффекта в телах с гладкой формой поверхности обычно однозначна. Некоторая неопределенность возникает при нагреве тел с резко изменяющейся кривизной поверхности, например прямоугольных, когда возникает так называемый поперечный краевой эффект [2].

Значительный фактором трудоемкости решения является подход к формулированию проектной задачи. Именно этим во многих случаях объясняется тот факт, что проектные решения, получаемые в результате сложных исследований с использованием ЭВМ, очень часто обладают лишь незначительными преимуществами или не имеют их вообще по сравнению с аналитическими решениями, полученными инженером, не искушенным в математике, но хорошо знающим технологию проектирования. При имеющейся недостоверности физических или экономических данных такая позиция, конечно, обоснована: трудность заключается в умении своевременно увидеть конец работы. Навязчивая идея во что бы то ни стало добиться идеального оптимума может привести к неоправданным затратам в тех случаях, когда более дешевые альтернативные решения практически не отличаются от оптимального. Большинство инженеров удовлетворяется получением решения, достаточно близкого к оптимальному, предпочитая не тратить время на поиски путей к абсолютному и вряд ли достижимому совершенству. Надо уметь сформулировать ограничения, которые позволяют определить наступление момента, когда дальнейшие расчеты и анализ уже не дают полезных результатов.

Изложенные выше соображения положены в основу исследований авторов по проектированию энергоэффективных индукторов [3].

Широко известные программные комплексы ANSYS, MatCAD, MatLab ори-

ентированы на широкую область применения в различных областях науки и техники. Однако они слабо приспособлены для решения конкретных задач индукционного нагрева, учета взаимного влияния тепловых и электромагнитных полей и оптимизации режимов нагрева. Преодоление этих проблем возможно путем создания специализированной САПР ИНУ, объединяющей достоинства таких мощных расчетных пакетов, как MatCAD и др. и программы специального назначения, такие, например, как QuickField.

Очевидно, что эффективность процесса автоматизированного проектирования в рамках САПР определяется не только качеством проектирующих и обслуживающих подсистем, но и полнотой базы данных, наличие которой обязательно согласно известным принципам законченности и целостности САПР. Центральной проблемой при организации базы данных является создание корректной лексико-семантической модели предметной среды, в рамках которой оперируют теория и практика индукционного нагрева. Исходя из того, что характерной особенностью предметной среды индукционного нагрева является большое число лингвистических и теоретико-множественных отношений малой мощности, в качестве концептуальной модели среды целесообразно использовать проблемно-ориентированную семантическую сеть фреймов, которая благодаря «чувствительности» и «эстетичности» позволяет систематизированно вести процесс использования теории индукционного нагрева.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зимин Л.С., Егиазарян А.С. Аналитические исследования при индукционном нагреве // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2009. – № 1 (23). – С. 152-159. – ISSN 1991–8542.
2. Зимин Л.С., Егиазарян А.С. (Щелочкова А.М.) Поперечный краевой эффект при индукционном нагреве // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2010. – Вып. № 7 (28). – С. 231-233.
3. Зимин Л.С., Егиазарян А.С. Повышение эффективности индукционного нагрева металла под деформацию // Индукционный нагрев. – № 22. – СПб.: Комлиз-Полиграфия, 2012. – С. 41-43.

Статья поступила в редакцию 13 января 2015 г.

POSSIBLE APPROACHES TO DESIGN INDUCTORS

A.S. Eghiazaryan

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russia

Approaches to the design of induction heating units (INU) are discussed. It is noted that the calculation of the inductor should be conducted within the parameters of the heated work piece and deforming equipment. This description of the electromagnetic field may be in three equivalent forms and names-but in the form of differential and integral equations and variation principles. A comparative analysis of analytical and numerical methods and methods of physical modeling was made. Stated that the advantage of the analytical solution consists in the possibility of applying a well-developed apparatus of an equivalent turbulent transformation. The possible aspects of the tasking Pro-designing and their influence on the final result of the project are considered. It is noted that many problems can be solved by creating a specialized CAD INU.

Keywords: *inductor, modeling, method, equations, electromagnetic field, skin-effect, optimization.*

Alexandra S. Eghiazaryan, Senior Lecture.

УДК 621.317

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВЯЗКОСТИ ПО СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

О.Г. Корганова, В.А. Кузнецов

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассмотрен метод измерения вязкости по скорости вращения электродвигателя. Показано, что этот метод эффективен при измерении вязкости ньютоновских жидкостей. Получена зависимость скорости вращения вала электродвигателя от значения вязкости. Предложена структурная схема вискозиметра и дано описание основных блоков, входящих в его состав. Рассмотрены методы измерения частоты вращения вала электродвигателя. Показано, что при использовании микроконтроллера для обработки измерительной информации более эффективным является метод измерения вязкости по частоте вращения вала электродвигателя постоянного тока.

Ключевые слова: *измерение вязкости, ротационный метод, скорость вращения вала электродвигателя, функция преобразования.*

Ротационный способ определения свойств материалов в вязкотекучем состоянии нашел широкое применение при определении показателей качества различных видов готовой продукции. В цеховых и лабораторных условиях контролируется вязкость различных смол, полимерных материалов, мастик, продуктов пищевой промышленности и т. п.

На предприятиях с непрерывным циклом выпуска продукции автоматизация технологических процессов по параметру вязкости выполняется с помощью ротационных вискозиметров [1].

Ротационные вискозиметры могут быть дискретного или непрерывного действия с механическим или электрическим чувствительным элементом.

Специфика исследования жидких сред предъявляет к вискозиметрам особые требования. В том числе вискозиметры должны быть изготовлены таким образом, чтобы обеспечить удобство работы в исследуемой среде, а также необходимую точность измерения вязкости исследуемого материала. Кроме того, необходимо так или иначе решить вопрос стабилизации температуры, от которой зависит вязкость, например путем помещения в термостат исследуемого материала.

При разработке данных приборов основные требования, предъявляемые к вискозиметрам, решаются, если удастся разработать прибор, обладающий значительной простотой и обеспечивающий высокую точность измерения вязкости.

Принцип работы известных ротационных вискозиметров основан на зависимости вращающего момента, который приложен к ротору, погруженному в исследуемую массу, от вязкости этой массы [2].

Крутящий момент, приложенный к ротору, определяется соотношением

Ольга Георгиевна Корганова (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Информационно-измерительная техника».

Владимир Андреевич Кузнецов (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Информационно-измерительная техника».

$$M_{кр} = Fr, \quad (1)$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент на роторе; F – сила, приложенная к ротору; r – радиус ротора.

Сила, приложенная к ротору, для ньютоновских жидкостей определяется законом Ньютона:

$$F = \eta \frac{\omega S}{l}, \quad (2)$$

где ω – угловая скорость вращения ротора; S – рабочая площадь ротора; l – зазор между измерительным цилиндром и ротором.

Подставив соотношение (2) в формулу (1), получим:

$$M_{кр} = \eta \frac{\omega Sr}{l} = \gamma \eta \omega, \quad (3)$$

где η – вязкость исследуемой массы; $\gamma = \frac{Sr}{l}$ – постоянная, зависящая от конструкции вискозиметра.

Таким образом, зная значения крутящего момента на роторе, можно определить динамическую вязкость исследуемой массы. При этом скорость вращения ротора обычно поддерживается постоянной:

$$\omega = \text{const.}$$

Определение крутящего момента $M_{кр}$ сопряжено со значительным усложнением схемы вискозиметра, т. к. требуется преобразовать $M_{кр}$ в промежуток времени, затем заполнить его импульсами стабильной частоты и совершить дальнейшие преобразования с целью выразить вязкость η . Эта цепочка преобразователей обладает определенными погрешностями, ухудшающими точностные показатели прибора.

На кафедре «Информационно-измерительная техника» СамГТУ разработан новый тип вискозиметра, в котором не требуется измерять крутящий момент и скорость вращения ротора не поддерживается постоянной, она зависит от вязкости исследуемой массы. Этот метод может быть применен для ньютоновских жидкостей. Большинство жидкостей являются ньютоновскими.

Известно, что у всех типов двигателей постоянного тока и у асинхронных двигателей угловая скорость вращения на холостом ходу самая большая.

С увеличением нагрузки на вал скорость вращения уменьшается, особенно сильно эта зависимость проявляется у двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением, у которого механическая характеристика выражается функцией

$$\omega = \frac{k}{M_{кр}}$$

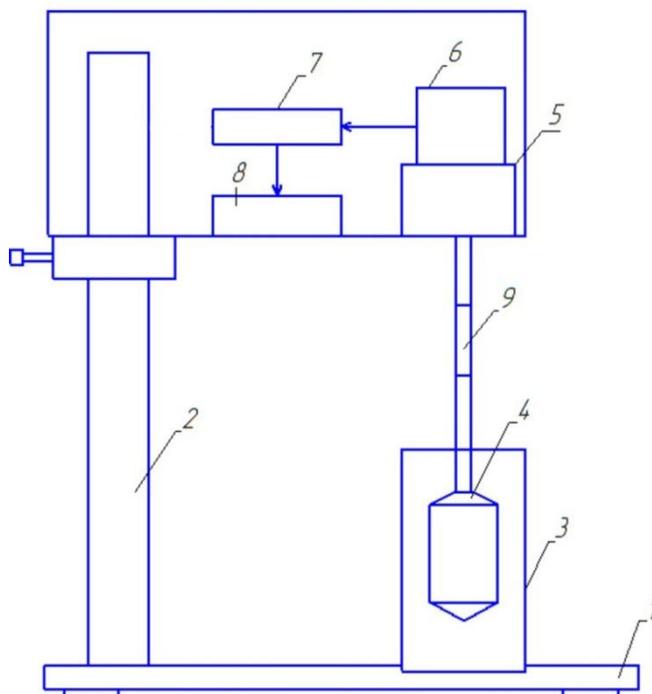
где k – коэффициент, определяемый параметрами электродвигателя.

Это свойство двигателей положено в основу построения вискозиметра нового типа, внешний вид которого и основные узлы приведены на рисунке.

Порядок работы вискозиметра может быть описан следующим образом.

Сначала двигатель включают на холостом ходу, с помощью штока 9 ротор 4 поднят, измеряется угловая скорость вращения ротора на холостом ходу, и это значение измеряется блоком 6 и записывается в блоке 7. Затем ротор 4 опускает-

ся в цилиндр с исследуемой массой, двигатель 5 вновь запускают, и в блоке 6 измеряется, а в блоке 7 записывается значение ω_1 . Блок 7 производит вычисление вязкости η в соответствии с зависимостью 6, после чего блок 8 индицирует значение η .



Внешний вид и основные узлы вискозиметра:

- 1 – основание; 2 – стойка; 3 – измерительный цилиндр; 4 – ротор;
5 – двигатель; 6 – блок измерения скорости вращения; 7 – вычислительный блок;
8 – индикатор вязкости; 9 – шток

Когда ротор вискозиметра помещается в измерительный цилиндр с исследуемой массой, скорость вращения двигателя ω уменьшается.

Из выражения (3) имеем

$$\eta = \frac{M_{кр}}{\gamma\omega},$$

с учетом (4) получим

$$\eta = \frac{k}{\gamma\omega^2}. \quad (5)$$

Из выражения (5) видно, что вязкость определяется только по одному параметру – скорости вращения вала электродвигателя. Коэффициенты k и γ зависят от конструкции электродвигателя, измерительных параметров ротора и цилиндра и являются постоянными. Так как скорость вращения входит в выражение в квадрате, то это обеспечивает высокую чувствительность метода измерения, что особенно важно при исследовании маловязких жидкостей.

Методы измерения угловой скорости вращения хорошо известны, и этот параметр измеряется с высокой степенью точности.

Скорость вращения может быть определена двумя способами:

– посредством измерения частоты вращения меток, нанесенных на вал двигателя;

– посредством измерения периода вращения вала двигателя.

Режим электродвигателя устанавливается таким, чтобы обеспечить мягкую тормозную характеристику. Тормозная характеристика двигателя $\omega = f(M_T)$ снимается заранее и вводится в память вычислительного блока.

Таким образом, точность работы вискозиметра существенно повышается, а его конструкция упрощается, т. к. исключается необходимость измерения крутящего момента и создания канала преобразования вязкости.

Тормозная характеристика электродвигателя снимается с помощью специальной установки, включающей в себя торсиометр. На этой установке получают зависимость

$$\omega = f(M_T).$$

Для стабилизации температуры исследуемой жидкости используется термостат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кулаков М.В., Крутоголов В.Д. Ротационные вискозиметры. – М.: Машиностроение, 1984. – 112 с.
2. Корганова О.Г., Кузнецов В.А. Вискозиметр повышенной точности // Тр. XI Междунар. науч.-практ. конф. – Самара: СамГТУ, 2012. – С. 120-124.

Статья поступила в редакцию 25 октября 2014 г.

METHOD OF MEASUREMENT VISCOSITY OF THE MOTOR SPEED

O.G. Korganova, V.A. Kuznetsov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russia

The method of measuring the viscosity of the speed of rotation of the motor. It is shown that this method is effective in measuring the viscosity of Newtonian fluids. The dependence of the speed of rotation of the motor shaft to viscosity. The structural scheme of the viscometer and a description of the main unit which is included in its composition. Methods for measuring the rotational speed of the motor shaft. It is shown that the study of the microcontroller for processing the measuring data is more efficient method of measuring the viscosity shaft speed DC motor.

Keywords: *viscosity measurement, a rotary method, the motor speed, the conversion function.*

УДК 517.958

ОСОБЕННОСТИ АЛГОРИТМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМИ ОБЪЕКТАМИ ПРИ НАЛИЧИИ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ВРЕМЯ ИХ ПРЕБЫВАНИЯ В ЗОНЕ НАГРЕВА

А.Г. Михеев

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассмотрены особенности математического моделирования процесса нагрева медных проводников при реализации операции их отжига в общем технологическом процессе. Такая операция характерна для производства различных видов кабеля. Она совмещается с работой различных единиц оборудования в общей структуре автоматических линий. При таком совмещении время пребывания провода в активной зоне нагрева ограничено. Это не позволяет описывать процесс нагрева традиционными математическими моделями в виде передаточных функций. Показано, что для подобных условий нагрева математическая модель этого процесса сведется к простому усилительному звену с переменным коэффициентом передачи. Для устранения такого параметрического возмущения в общем процессе нагрева предложена простая структура алгоритма управления.

Ключевые слова: тепловые объекты, время нагрева, математическая модель, усилительное звено, параметрическое возмущение.

В общем случае понятие теплового объекта охватывает широкую гамму различных технологических процессов и операций, связанных с нагревом или охлаждением различных материалов. Поэтому мы ограничиваемся рассмотрением одного из возможных частных случаев подобных объектов, когда речь идет об управлении процессом нагрева малого объема материала, имеющего, например, цилиндрическую форму. Практически речь идет об операции отжига медных жил телефонного кабеля при их изготовлении на волочильных машинах. Это одна из основных операций при производстве одиночных жил, и она сопровождается обработкой давлением исходного материала, который протягивается через волокна, имеющие меньшие геометрические размеры поперечного сечения, чем исходная заготовка. В результате происходит снижение диаметра исходной заготовки до нужных геометрических размеров, но одновременно происходит увеличение прочности и снижение пластичности самого материала (при этом также снижается электропроводность этого материала). Подобные изменения механических характеристик материала и его физических свойств обычно затрудняют выполнение последующих технологических операций, хотя при этом мы получаем гарантированный геометрический размер провода или жилы кабеля. Следовательно, возникает необходимость в восстановлении основных характеристик исходного материала. Например, для повышения пластичности, т.е. относительного удлинения материала провода, и его электрической проводимости после завершения операции волочения этого провода он подвергается операции отжига. Сущность этой операции сводится к нагреву провода до определенной температуры (400÷650) °С и последующему его охлаждению в среде защитного газа. Ис-

Александр Григорьевич Михеев (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Автоматика и управление в технических системах».

точником тепла в различных установках отжига, как правило, является электрическая энергия. При этом речь идет либо о специальных печах, где имеются нагреватели, подключаемые к источнику электрической энергии, либо о нагреве простым пропусканием тока непосредственно через отжигаемую проволоку. Каждый из вариантов отжига имеет свои положительные и отрицательные стороны, но оба они широко распространены в кабельной промышленности. Алгоритмы управления работой печи отжига и установок непрерывного отжига проволоки существенно различаются, хотя при этом решается одна и та же задача нагрева этой проволоки до заданной температуры. Но в основу разработки таких алгоритмов может быть положен один и тот же принцип, основанный на использовании математической модели соответствующего процесса нагрева проволоки либо в условиях используемых для этих целей печей отжига, либо в условиях непрерывного совмещенного отжига, когда установка для его реализации встроена в структуру автоматической линии непосредственно после волочильного оборудования. Для тепловых процессов их математическое моделирование всегда основано на использовании общего уравнения баланса тепла применительно к конкретным условиям теплообмена. Практика подобного моделирования показывает, что для отжига в печах процесс нагрева катушек с медной проволокой моделируется по своим динамическим свойствам – аperiodическим звеном первого порядка [Л1-Л3], т. е. имеет следующую передаточную функцию:

$$W(P) = \frac{K}{1+TP}, \quad (1)$$

где K – коэффициент передачи, который определяет уровень конечной температуры при завершении всего процесса нагрева катушек;

T – постоянная времени, которая определяет динамику процесса нагрева.

Если эта операция нагрева реализуется в печах периодического действия, то в них целесообразно установить постоянную температуру, равную температуре отжига, и катушка выдерживается в этой печи до момента, когда завершится весь процесс нагрева. В этом частном случае время выдержки катушек в зоне нагрева должно быть больше общего времени переходного процесса нагрева, равного $4T$, а коэффициент передачи в выражении (1) принимаем равным единице. Общий временной цикл отжига при этом должен учесть дополнительное технологическое время выдержки катушки в зоне печи и время ее последующего охлаждения, что существенно снижает производительность такого отжига. В этом отношении более производителен отжиг проволоки в печах конвейерного типа. Для них вопрос стабилизации температуры внутри печи решается автономным регулятором, который управляет током нагревателей в этой печи, например, по обычному П-закону регулирования. Аналогичный локальный регулятор предусмотрен и в печах периодического действия. Если говорить об управлении печами конвейерного типа, то при $\theta_{\text{печи}} = \theta_{\text{отжига}}$ нам необходимо лишь определить требования к скорости движения катушек в зоне нагрева, которая должна обеспечить их общее время пребывания в активной зоне печи не менее $4T$. Количественная оценка постоянной времени T обычно проводится по результатам экспериментального исследования реальной конструкции печи. Для увеличения производительности печей конвейерного типа можно рекомендовать подъем температуры активной зоны печи до значений, значительно превышающих температуру отжига. Тогда скорость конвейера подбирают таким образом, чтобы за время пребывания катушки в зоне нагрева ее температура не выходила за преде-

лы заданного уровня температуры отжига. Эта задача может решаться либо оператором, либо с помощью локальной системы управления работой конвейера непосредственно по реальной температуре самой медной проволоки, которую можно контролировать с помощью термопары или термометра сопротивления. Локальная система управления отжигом катушек с проволокой в печах конвейерного типа ориентирована на использование скорости конвейера как управляющего воздействия для этого процесса. Если известна постоянная времени нагрева катушки, то привод конвейера должен обеспечить выполнение неравенства

$$V_{TP} \leq \frac{L_{печ}}{(3-4)T_K},$$

где $L_{печ}$ – конструктивная длина рабочей зоны печи;

T_K – эквивалентная постоянная времени процесса нагрева катушек с проводом;

V_{TP} – скорость движения конвейерной ленты.

Рассмотренный вариант технической реализации операции отжига потребует наличия специального участка отжига, что не всегда возможно в реальных условиях. Поэтому для повышения производительности отжига в последнее время все более широко применяют непрерывный контактный отжиг, при котором нагрев проволоки происходит за счет ее нагрева пропусканием через нее электрического тока. Это так называемые установки совмещенного отжига. Они располагаются непосредственно за волочилкой и представляют собой управляемый источник электрического тока, выход которого подключен к роликам, через которые проходит проволока после завершения ее волочения. Ролики изолированы друг от друга, и ток нагрева проходит непосредственно через проволоку, создавая как предварительный подогрев проволоки до температуры ниже температуры начала окисления проволоки в среде атмосферного воздуха, так и окончательный нагрев до температуры отжига уже в среде защитного газа (обычно водяного пара). В качестве источника энергии предпочтительно использовать тиристорный управляемый преобразователь постоянного или переменного тока. Основная отличительная особенность совмещенного отжига – это его высокое быстродействие. Говоря же о математической модели этого процесса, следует отметить, что она по своим динамическим свойствам по-прежнему может быть представлена апериодическим звеном первого порядка [Л2, Л3]. Следовательно, переходная характеристика процесса отжига будет описываться уравнением

$$\theta = \theta_m \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{от}}} \right), \quad (2)$$

где θ – температура жилы;

θ_m – конечная температура жилы, до которой она была бы нагрета при ее фиксированном положении между роликами;

$T_{от}$ – величина постоянной времени, характеризующая динамику процесса нагрева участка проволоки, расположенного между контактными роликами;

t – текущее значение времени.

Приведенное уравнение справедливо для принятой модели процесса нагрева рабочего участка провода, и его реальное использование предусматривает изме-

нение времени t в пределах от нуля до бесконечности. В реальных же условиях время пребывания проволоки под действием тока отжига ограничено временем прохождения ее элементарного участка при его движении вместе с жилой между базовыми роликами. Численно оно равно

$$t = \frac{L_{\text{отж}}}{V_{\text{а.л}}}, \quad (3)$$

где $L_{\text{отж}}$ – расстояние между роликами системы отжига;

$V_{\text{а.л}}$ – линейная скорость работы линии.

Подставив выражение (3) в (2), получим:

$$\theta = \theta_m \left(1 - e^{-\frac{L_{\text{отж}}}{T_{\text{от}} \cdot V_{\text{а.л}}}} \right). \quad (4)$$

Полученное уравнение (4) показывает, что в условиях совмещенного отжига исходная модель процесса отжига преобразуется к простому усилительному звену:

$$\theta = K_0 \cdot \theta_m, \quad (5)$$

где $K_0 = \left(1 - e^{-\frac{L_{\text{отж}}}{T_{\text{от}} \cdot V_{\text{а.л}}}} \right)$.

Коэффициент передачи этого звена [K_0] зависит от скорости работы линии [$V_{\text{а.л}}$], поэтому можно говорить о наличии в данном звене параметрического возмущения: [$K_0 = f(V_{\text{а.л}})$].

Таким образом, учет ограничений на время пребывания проволоки в активной зоне нагрева отжига позволяет упростить общую математическую модель этого процесса, доведя ее до простого усилительного звена с переменным коэффициентом усиления. Это существенно упрощает разработку структуры алгоритма управления всем процессом отжига, сводя его к алгоритму компенсации параметрических возмущений за счет коррекции параметров источника питания участка отжига, который и будет определять конечную температуру жилы в конце нагрева проволоки на участке отжига при ее неподвижном состоянии, т. е. речь идет об изменении величины θ_m в уравнении (5). Подобное управление позволит решить задачу стабилизации температур проволоки на выходе из зоны отжига.

Полученные результаты могут быть использованы при алгоритмизации процессов управления тепловыми объектами в различных отраслях техники.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бульхин А.К., Кидяев В.Ф., Кижяев С.А. Электропривод и автоматизация волочильного оборудования. – Самара, 2002. – 482 с.
2. Пехович А.И., Жидких В.М. Расчеты теплового режима твердых тел. – Л.: Энергия, 1976. – 350 с.
3. Михеев М.А./, Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1977. – 343 с.

Статья поступила в редакцию 15 января 2015 г.

SPECIAL FEATURES OF ALGORITHMIZATION FOR THERMAL FACILITIES MANAGEMENT WITHIN THE TIME LIMIT OF DWELLING IN THE HEATING ZONE

A.G. Mikheev

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russia

The paper discusses the features of mathematical modeling of the process of heating the copper conductors in the implementation of the operation of the annealing process in general. Such operation is typical for the production of various types of cable. It is combined with the work of the various pieces of equipment in the general structure of automatic lines. With this combination, the residence time in the core wire is restricted heating. It is not possible to describe the process of heating the traditional mathematical models in the form of transfer functions. It is shown that for this type of heating mathematical model of this process will be reduced to a simple amplifying element with a variable gear ratio. To eliminate such parametric perturbations in the overall process of heating, a simple structure of the control algorithm.

Keywords: *thermal facilities, heating time, mathematical model, amplifying circuit, parametric perturbation.*

УДК 66.041.6:662.951.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ИНЖЕКЦИИ, РЕГУЛИРУЕМЫХ И УСТАНОВОЧНЫХ РАЗМЕРОВ ГОРЕЛОК ТИПА АГГ

А.С. Печников

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: PetchnikovAS@mail.ru

Рассмотрены вопросы повышения эффективности сжигания топливного газа в газовых горелках типа АГГ, широко применяемых в трубчатых печах нефтепереработки и нефтехимии. На основании проведенных стендовых исследований определены коэффициенты инжекции первичного воздуха в камеру смешения для нескольких типоразмеров горелок АГГ-2, АГГ-3 и АГГ-4 и установлены оптимальные соотношения регулируемых размеров горелок. При максимальных значениях коэффициента инжекции горелки обеспечивается высокое качество подготовки газозвушной смеси к воспламенению, что дает возможность расширить диапазон устойчивой работы, обеспечить эффективность горения при изменении нагрузок по топливному газу и упростить настройку горелок перед пуском.

Ключевые слова: горелка газовая типа АГГ, коэффициент инжекции воздуха, зазор оптимальный.

Газовая горелка типа АГГ [1–4] относится к классу горелок с инжекционной подачей части воздуха в камеру смешения (первичный воздух), другая часть воздуха (вторичный воздух), необходимая для полного сжигания топлива, поступает через вторичную камеру и смешивается с газозвушной смесью в объеме факела в режиме турбулентной диффузии.

Формирование факела, настилающегося на излучающую поверхность топки с заданными размерами, связано с выбором оптимальных соотношений расходов газа, первичного и вторичного воздуха. Эти соотношения достигаются правильным выбором регулируемых и установочных размеров горелочного устройства.

Соотношение между объемными расходами топливного газа (в условиях «холодных» продувок – сжатого воздуха) V_G и первичного воздуха V_1^B в горелке типа АГГ регулируется величиной зазора $2B_0$ между полуторовой поверхностью сопла и регулирующим диском. В качестве количественной характеристики этого соотношения принят объемный коэффициент инжекции камеры смешения, определяемый отношением объема инжектируемого в камеру воздуха к объему воздуха, необходимого для полного сгорания:

$$n_1 = \frac{V_1^B}{V_G \cdot \alpha \cdot V_0}, \quad (1)$$

где $\alpha \cdot V_0$ – количество воздуха, необходимого для полного сгорания (при расчете коэффициента инжекции принимаем количество воздуха, необходимого для пол-

ного сгорания 1 м^3 газа, равным 8 м^3).

Для исследования горелок типа АГГ по определению коэффициента инжекции, регулируемых и установочных размеров горелок разработан и изготовлен аэродинамический стенд, схема которого представлена на рис. 1.

Основным элементом стенда является исследуемая горелка 1, установленная на опорных ребрах в амбразурной трубе 2.

Рабочим телом при проведении исследований являлся воздух, подаваемый в горелку от компрессорной установки 4 через вентиль 5. Расход компримируемого воздуха замерялся с помощью камерной диафрагмы 6 и дифманометра 7, количество воздуха регулировалось выпуском в атмосферу через регулирующий вентиль 8. Инжектируемый из окружающей среды воздух поступал на смешение с компримируемым воздухом по трубам 2 и 9 (внешняя и внутренняя инжекция). Количество инжектируемого воздуха замерялось с помощью напорных трубок Пито 10 и 11, установленных соответственно на внутренней и внешней трубах и подсоединенных шлангами к вторичному прибору – микроманометру 12. В экспериментальной установке применялся компрессор марки ВУ 3/8 с максимальной производительностью $180 \text{ м}^3/\text{ч}$. Давление компримируемого воздуха замерялось манометром 13.

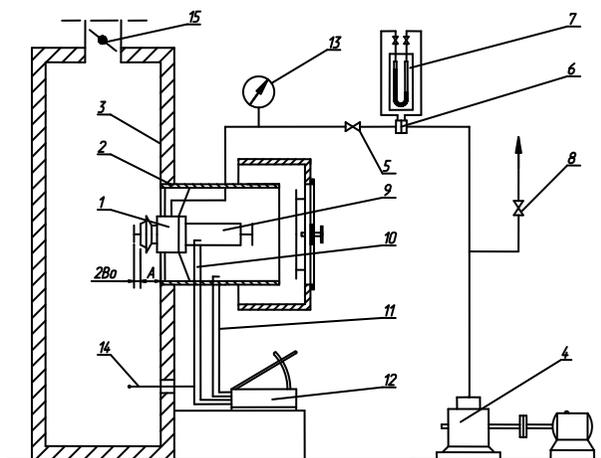


Рис. 1. Схема аэродинамического стенда для исследования горелок типа АГГ:

1 – исследуемая горелка; 2 – амбразурная труба; 3 – настольная поверхность; 4 – компрессор; 5 – вентиль; 6 – камерная диафрагма; 7 – дифманометр; 8 – регулирующий вентиль; 9 – внутренняя труба; 10, 11 – трубки Пито; 12 – микроманометр; 13 – манометр; 14 – тягомер; 15 – шибер

В схеме использовались вторичные приборы для измерения перепада давлений на диафрагме – дифманометр типа ДТ-50 с предельным перепадом столба жидкости 700 мм и чашечный микроманометр типа ММН-250 с пределом измерений от 0 до 250 мм вод. ст. Диафрагма рассчитана согласно условиям испытаний по предельному расходу воздуха через модель горелки типа АГГ. В камере стенда вентилятором создавалось разрежение, которое контролировалось по показаниям тягомера 14 и регулировалось положением шибера 15.

При проведении испытаний производились замеры количества поступающего от компрессора воздуха и воздуха, инжектируемого горелкой из окружающей среды во внутреннюю трубу.

Регулируемый размер $2B_0$ является выходным параметром горелки (по нему определяется эквивалентный диаметр сопла), именно он определяет количество

инжектируемого в камеру смешения первичного атмосферного воздуха.

При максимальных значениях коэффициента инжекции камеры смешения горелки обеспечивается высокое качество подготовки ГВС к воспламенению, что дает возможность расширить диапазон устойчивой работы, обеспечить эффективность горения при изменении нагрузок по топливному газу и упростить настройку горелок перед пуском.

Исходя из этих соображений была изучена закономерность поступления инжектируемого воздуха (первичный воздух) в камеру смешения горелки при различных производительностях по компримируемому воздуху. При номинальной производительности исследуемых моделей горелок типа АГГ-2, АГГ-3 и АГГ-4 получена зависимость (рис. 2) объемного коэффициента инжекции камеры смешения горелок типа АГГ от величины установочного размера $2B_0$.

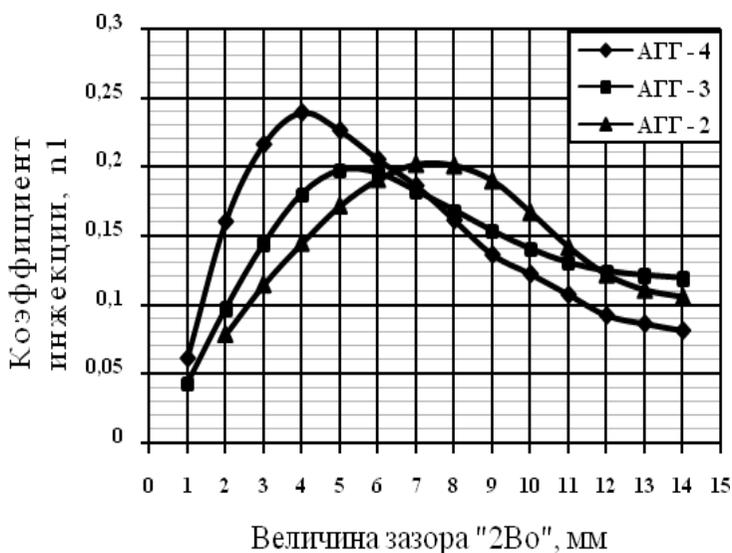


Рис. 2. Зависимость коэффициента инжекции камеры смешения горелок типа АГГ от величины установочного размера $2B_0$

В дальнейшем при изучении полученной закономерности для всех горелок типа АГГ выявлена взаимосвязь величины зазора от диаметра камеры смешения горелки d_{KC} . При эксплуатации горелок в режиме, близком к номинальному, зазор между полуторовой поверхностью сопла и регулирующим диском необходимо устанавливать исходя из соотношения

$$\frac{2B_0}{d_{KC}} = 0,05 \div 0,25, \quad (2)$$

обеспечивая тем самым максимальную инжекцию первичного воздуха в горелку.

Обобщая ряд полученных кривых для нескольких фиксированных производительностей в рабочем диапазоне по компримируемому воздуху, получаем зависимость (рис. 3), по которой может осуществляться выбор оптимальной величины зазора $2B_0$.

Окончательное значение величины этого зазора для максимального подсоса воздуха в первичную камеру при условиях работы горелки подбирается при проведении пусконаладочных работ по системе сжигания топлива печи.

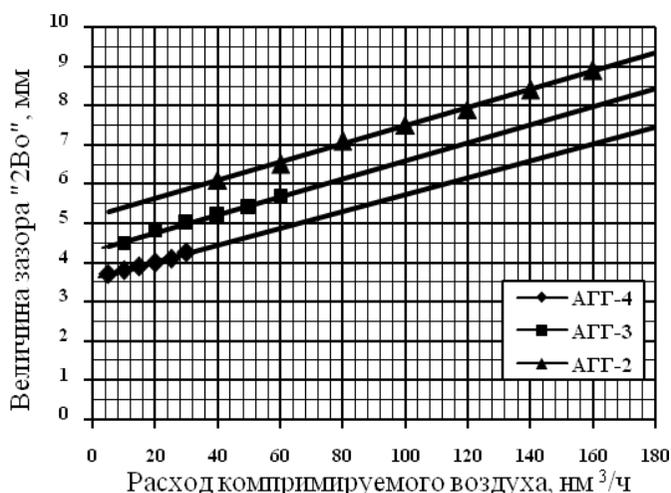


Рис. 3. Определение оптимальной величины зазора при изменении производительности горелок типа АГГ

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шарихин В.В., Печников А.С., Степанчук В.В., Шарихин А.В. Газовая горелка, обеспечивающая снижение окислов азота в дымовых газах // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2003. – № 4. – С. 27-29.
2. Печников А.С., Григорян Л.Г. Формирование излучающей поверхности в трубчатых печах пиролиза вихревыми горелками диффузионно-кинетического типа // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2010. – № 2. – С. 204-209.
3. Шарихин В.В., Мухина Т.Н., Печников А.С., Шарихин А.В. Газовые горелки типа АГГ для систем сжигания топлива в трубчатых печах // Нефтепереработка и нефтехимия. – № 1. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1998. – С. 32-35.
4. Шарихин В.В., Мухина Т.Н., Печников А.С., Шарихин А.В. Повышение эффективности топливных систем трубчатых печей // Нефтепереработка и нефтехимия. – № 4. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2002. – С. 15-17.

Статья поступила в редакцию 25 декабря 2014 г.

DETERMINATION OF INJECTION COEFFICIENTS, ADJUSTABLE AND INSTALLATION SIZES OF AGG BURNERS

A.S. Petchnikov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russia

The article is dedicated to questions of gas burning efficiency rising in AGG-type burners. These burners are widely used in oil refining and chemical plants. An experimental research allows to determine primary air injection coefficients for mixing chambers of AGG-2, AGG-3 and AGG-4 burners. An optimal ratio of burner adjustable dimensions is determined. Maximal values of injection coefficient assure high explosions quality of air-gas mixture. It allows raising a burning stability and efficiency in case of gas rate variation and to simplify burner adjustment.

Keywords: burner type AGG, air injection coefficient, gas rate coefficient, optimal gap.

Aleksandr S. Petchnikov (Ph.D. (Techn.)), Senior Lecture.