

Краткие сообщения

УДК 681.5.015

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПОТОКА С ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТЬЮ В SIMULINK¹

И.А. Данилушкин, К.В. Кавкаев

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

Рассматривается задача моделирования температурного распределения потока, движущегося с переменной скоростью. Температурное распределение потока описывается гиперболическим уравнением первого порядка. Численная модель температурного распределения потока получена с помощью спектральной теории. Предложен подход к реализации модели в компьютерном пакете моделирования нелинейных динамических систем. Приведены результаты сравнения полученной модели с точными аналитическими решениями, полученными для постоянной скорости.

Ключевые слова: спектральная теория, объект с распределёнными параметрами, гиперболическое уравнение первого порядка, температурное распределение потока, переменная скорость потока

Некоторые технологические объекты могут быть описаны гиперболическим уравнением первого порядка [1], в частности аппараты воздушного охлаждения масла и газа [2, 3], проходные индукционные и газовые печи [4], химические реакторы [5].

В работах [2, 3] рассматривается задача управления температурой потока на выходе теплообменника при постоянной скорости потока. Объект описывается уравнением (1)

$$\frac{\partial Q(l,t)}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial Q(l,t)}{\partial x} = \beta \cdot (Q_{cp}(t) - Q(l,t)), \quad 0 \leq l \leq L, \quad t > 0, \quad (1)$$

с краевыми и начальными условиями (2)

$$Q(l,0) = Q_0(l), \quad Q(0,t) = g(t), \quad (2)$$

где v – скорость потока; β – коэффициент теплообмена; $Q_{cp}(t)$ – температура внешней среды; L – общая длина трубки теплообменника; $Q_0(l)$ – начальное распределение температуры; $g(t)$ – функция изменения температуры потока на входе теплообменника.

¹Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ №№ 15-08-01347-а, 15-08-01347-а.

Иван Александрович Данилушкин (к.т.н.), доцент кафедры автоматики и управления в технических системах.

Константин Валерьевич Кавкаев, магистрант.

В случае переменной скорости потока, $v = v(t)$, уравнение (1) не имеет аналитического решения, поэтому исследование объекта управления при подобных параметрических возмущениях предполагает либо линеаризацию уравнения [4], либо использование спектральной теории распределённых систем [6–8].

Уравнение (1) в спектральной форме имеет вид [6]:

$$\frac{\partial \Phi_0}{\partial t} = \Phi_{10} \cdot \Phi_0 + \Phi_{11} (\mathbf{P}_1 \cdot \Phi_0 + \Gamma_1^{0a}) + \Phi_1^\beta \cdot \Phi_u, \quad (3)$$

где $\Phi_0 = [\varphi^Q(h, t)]_{\infty \times 1}$ – матрица спектральных характеристик функции $Q(l, t)$, компоненты матрицы определяются как

$$\varphi^Q(h, t) = \int_0^L Q(\xi, t) P(h, \xi) d\xi, \quad h = 1, 2, \dots; \quad (4)$$

$\Phi_u = [\varphi^{Q_{cp}}(h, t)]_{\infty \times 1}$ – матрица спектральных характеристик внешнего воздействия $Q_{cp}(t)$, компоненты матрицы определяют как

$$\varphi^{Q_{cp}}(h, t) = \int_0^L Q_{cp}(t) P(h, \xi) d\xi, \quad h = 1, 2, \dots; \quad (5)$$

Φ_{10} , Φ_{11} , Φ_1^β – квадратные матрицы, соответствующие коэффициентам дифференциального уравнения (1):

$$\Phi_{10} = -\beta \cdot \mathbf{E}, \quad \Phi_{11} = -v(t) \cdot \mathbf{E}, \quad \Phi_1^\beta = \beta \cdot \mathbf{E}; \quad (6)$$

$\mathbf{P}_1 = [P_1(h, \bar{h})]_{\infty \times \infty}$ – операционная матрица дифференцирования первого порядка [6] функции $Q(l, t)$ по пространственной переменной, компоненты которой определяются как

$$P_1(h, \bar{h}) = \int_0^L P(\bar{h}, \xi) \left(\frac{\partial P(h, \xi)}{\partial \xi} \right) d\xi, \quad h = 1, 2, \dots, \quad \bar{h} = 1, 2, \dots; \quad (7)$$

$\Gamma_1^{0a} = [\varphi^g(h, t)]_{\infty \times 1}$ – матрица граничных условий, её компоненты определяются как

$$\varphi^g(h, t) = \int_0^L g(t) \delta(0 - \xi) P(h, \xi) d\xi, \quad h = 1, 2, \dots \quad (8)$$

В качестве системы разложения выбрана система функций [7]

$$P(h, l) = \sqrt{2} \sin\left(\frac{(2h-1)\pi l}{2L}\right). \quad (9)$$

Уравнение в спектральной форме (3) может быть приведено к виду

$$\dot{\Phi}_0 = (\Phi_{10} - \Phi_{11} \mathbf{P}_1) \cdot \Phi_0 + \Phi_{11} \cdot \Gamma_1^{0a} + \Phi_1^\beta \cdot \Phi_u. \quad (10)$$

Решение уравнения (1) определяется выражением

$$Q(l,t) = \sum_{h=1}^{\infty} P(h,l) \cdot \varphi^Q(h,t). \quad (11)$$

В случае, когда температура потока контролируется на выходе теплообменника, можно ввести обозначения

$$Q(L,t) = \sum_{h=1}^{\infty} P(h,L) \cdot \varphi^Q(h,t) = \mathbf{P}_L^T \cdot \Phi_0, \quad (12)$$

где $\mathbf{P}_L = [P(h,L)]_{\infty \times 1}$ – вектор, составленный из значений функций (9), для фиксированной точки расчёта L .

Введя обозначения $\mathbf{A} = \Phi_{10} - \Phi_{11}\mathbf{P}_1$, $\mathbf{x} = \Phi_0$, $\mathbf{C} = \mathbf{P}_L^T$, $\mathbf{B} = \Phi_1^\beta$, $\mathbf{u} = \Phi_u$, $\mathbf{y} = [Q(L,t)]_{1 \times 1}$ и приняв нулевыми граничные условия, систему уравнений (10), (12) можно привести к виду

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u}; \\ \mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x} \end{cases} \quad (13)$$

$$\quad (14)$$

Таким образом, при изменении скорости происходит изменение матрицы \mathbf{A} представления объекта в пространстве состояний (13)–(14), а изменение температуры среды приводит к изменению вектора \mathbf{u} . Компоненты вектора \mathbf{u} , согласно (5), могут быть рассчитаны как

$$\mathbf{u} = Q_{cp}(t) \cdot \mathbf{P}_I, \quad (15)$$

где \mathbf{P}_I – вектор, состоящий из компонентов

$$P_I(h) = \int_0^L P(h,\xi) d\xi, \quad h = 1, 2, \dots \quad (16)$$

Система компьютерного моделирования динамических систем MATLAB Simulink позволяет реализовать модель произвольного объекта, представленного в пространстве состояний с помощью блока S-функция (S-function) [9].

Расчёт Simulink-модели осуществляется в несколько этапов [9]. На первом этапе производится инициализация модели, определяются: порядок обхода блоков, параметры блоков, размерности сигналов, шаг модельного времени. Затем Simulink переходит в режим выполнения циклов моделирования. На каждом цикле для каждого блока вызываются подпрограммы, которые вычисляют текущие значения переменных состояния, их производных и выходов блока. Процесс продолжается, пока не будет достигнут конец временного интервала моделирования.

При описании S-функции определяются соответствующие подпрограммы, куда в качестве параметров передаются: текущее время расчёта t , вектор состояний \mathbf{x} и вектор входных значений.

Вектор входных значений S-функции, моделирующей поведение температуры потока на выходе теплообменника, состоит из двух компонентов: $Q_{cp}(t)$ и $v(t)$ – значения температуры среды на текущем шаге расчёта и скорости потока. Выходной вектор S-функции состоит из одного компонента – $Q(L,t)$ – температуры потока на выходе теплообменника.

Тело S-функции состоит из трёх подпрограмм:

1) подпрограмма инициализации S-функции, осуществляет расчёт компонентов матриц \mathbf{P}_I , \mathbf{P}_L , \mathbf{P}_1 , Φ_{10} , Φ_1^β в соответствии с заданным количеством членов ряда разложения по выражениям (16), (9), (7), (6);

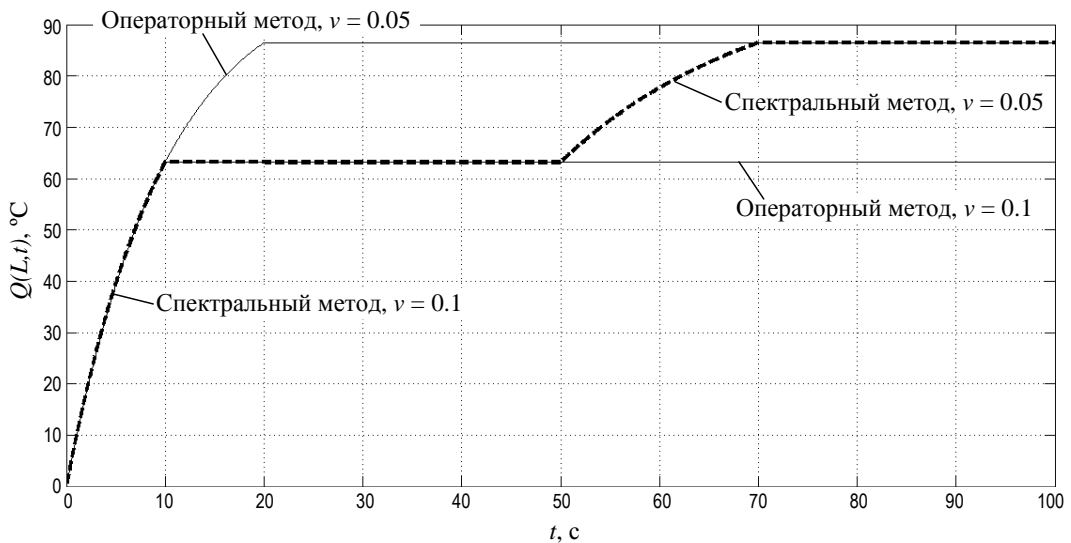
2) подпрограмма расчёта производных вектора состояний, вычисляет значения компонентов матрицы \mathbf{A} в зависимости от текущего значения скорости $v(t)$ с учётом (6) и (7), а также значения компонентов вектора \mathbf{u} в зависимости от текущего значения температуры среды $Q_{cp}(t)$ по формуле (15) и рассчитывает значения производных вектора состояний по формуле (13);

3) подпрограмма расчёта выходных значений, рассчитывает значение температуры на выходе согласно выражению (14).

Качество полученной модели оценивалось по сравнению с аналитическими решениями, полученными для уравнения (1) при постоянной скорости потока. При нулевых начальных и граничных условиях решение уравнения (1) имеет вид [2]

$$Q(L, p) = \frac{\beta}{p + \beta} \left(1 - \exp\left(-\frac{p + \beta}{v} L\right) \right) Q_{cp}. \quad (17)$$

Параметры модели: $v_1 = 0.1$ м/с, $v_2 = 0.05$ м/с, $\beta = 0.1$ с⁻¹, $L = 1$ м, $Q_{cp} = 100$ °С, $g(t) = 0$ °С, $N = 100$. Графики изменения температуры на выходе потока приведены на рисунке.



Переходные процессы моделей на основе операторного и спектрального методов

Анализ переходных процессов показывает, что в установившемся режиме при одинаковых значениях скорости потока обе модели имеют одинаковое значение температуры на выходе. Длительность переходного процесса при смене скорости соответствует времени прохождения потока по длине теплообменника.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рей У. Методы управления технологическими процессами: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 368 с.
2. Данилушкин И.А., Россеев Н.Н. Синтез системы автоматического управления температурным полем трубчатого теплообменника // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Серия «Технические науки». Выпуск 40: Самара: СамГТУ, 2006. – С. 5–11.
3. Алимов С.В., Данилушкин И.А., Мосин В.Н. Моделирование установившихся процессов теплообмена в аппаратах воздушного охлаждения газа // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Серия «Технические науки». Выпуск №2(26)–2010: Самара: СамГТУ, 2010. – С. 178–186.
4. Данилушкин А.И., Рапопорт Э.Я. Алгоритмы функционирования процесса непрерывно-последовательного индукционного нагрева // Алгоритмизация и автоматизация технологических процессов и промышленных установок: Межвузовский сборник научных трудов. Вып. VII. – Куйбышев: КПТИ, 1976. – С. 118–124.
5. Мандра А.Г. Математическое моделирование процесса диффузии как распределенного объекта управления с переменной структурой // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Серия «Технические науки». Выпуск №4(32)–2011: Самара: СамГТУ, 2011. – С. 229–232.
6. Коваль В.А. Спектральный метод анализа и синтеза распределенных управляемых систем. Саратов. Изд-во Саратов. гос. техн. ун-та. 1997.
7. Коваль В.А., Торгашова О.Ю. Синтез дискретных регуляторов пониженной размерности для распределенной следящей системы // Автоматика и телемеханика. – 2011. – №10.
8. Данилушкин И.А., Снеговой В.В. Построение математической модели процесса охлаждения потока движущейся среды в пространстве состояний // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Серия «Технические науки». Выпуск №2(34)–2012: Самара: СамГТУ, 2012. – С. 218–221.
9. Черных И.В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений / Под общ. ред. к.т.н. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 496 с.

Статья поступила в редакцию 19 января 2017 г.

SIMULATION OF THE TEMPERATURE FIELD OF FLOW WITH VARIABLE VELOCITY IN SIMULINK

I.A. Danilushkin, K.V. Kavkaev

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

The paper considers the problem of simulation the temperature distribution of a flow moving with variable velocity. The temperature distribution of the flow is described by a first-order hyperbolic equation. A numerical model of the temperature distribution of the flow is obtained using the spectral theory. An approach to implementing the model in a computer simulation package for nonlinear dynamic systems is proposed. The comparison results between obtained model and exact analytical solutions, taken for a constant velocity, are shown.

Keywords: *spectral theory, plant with distributed parameters, first-order hyperbolic equation, temperature distribution of flow, variable flow rate*

*Ivan A. Danilushkin (Ph.D.(Techn.)), Associate Professor.
Konstantin V. Kavkaev, Graduate Student.*

УДК 621.365.5

**КЛЮЧЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ИНДУКЦИОННЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ****Л.С. Зимин, А.С. Егиазарян*Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Указываются основные проблемы, возникающие при проектировании, электрооборудовании, электроснабжении и эксплуатации индукционных нагревательных установок. Анализируются продольный и поперечный краевые эффекты. Рассматриваются электродинамические явления при индукционном нагреве. Раскрываются особенности трехфазных индукторов как в отношении равномерности нагрева, так и в отношении электромагнитной совместимости индукционных нагревателей с системой электроснабжения. Даются рекомендации по оптимизации системы электроснабжения электротермических производств с индукционными установками. Анализируются методики расчета индукторов, применяемых в прокатном и прессовом производствах. Указываются особенности использования электромагнитной индукции при нагреве алюминиевых сплавов. Показан комплексный подход к проектированию индукционных нагревательных установок.

Ключевые слова: индуктор, деформация, нагрев, проектирование, электроснабжение, электродинамические силы.

Участок индукционных нагревательных установок (ИНУ), предназначенных для обработки металла давлением (ОМД), где наиболее характерными являются прокатка и прессование, можно условно представить в виде двух транспортных потоков: металл и электроэнергия. В глобальной постановке задачи повышения эффективности электротермического производства необходимо стремиться к комплексной оптимизации этих потоков с целью получения максимума дохода при условии выполнения заданной программы в срок и с заданным качеством [1] и учитывать ряд проблем, которые являются специфическими для индукционного способа нагрева [3].

Наиболее целесообразен единый системный подход к разработке энергоэффективных технологий индукционного нагрева [2, 4]. При этом решаются электромагнитные, электродинамические и тепловые задачи, возникающие при проектировании и эксплуатации ИНУ, а также задачи электромагнитной совместимости ИНУ с системой электроснабжения. В настоящей работе акцент делается на алюминиевые сплавы, широко представленные в металлургическом и машиностроительном производствах и одновременно являющиеся проблемными для индукционного способа нагрева [10].

В последние годы значительно повысился интерес к разработке методов проектирования индукторов [15]. Это объясняется двумя причинами: во-первых, вследствие существенного расширения области промышленного применения ин-

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 15-08-03053).*

Лев Сергеевич Зимин (д.т.н., проф.), профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий».

Александра Сергеевна Егиазарян (к.т.н.), доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий».

дукционного нагрева возросли потребности в расчетах такого рода; во-вторых, коренным образом изменились возможности их реализации благодаря быстрому развитию компьютерных технологий.

Методика проектирования индукторов может быть представлена в аналитическом (формульном) или алгоритмическом виде. Под алгоритмом понимают точное предписание, определяющее вычислительный процесс от варьируемых исходных данных к искомому результату. Описание алгоритмов допускает различную степень детализации.

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 результате которых сложный исходный алгоритм (соответствующий, например, дифференциальным или интегральным уравнениям) сводится к значительно более простому – к формуле, содержащей элементарные или специальные, но хорошо табулированные функции.

Удачным сочетанием аналитического решения и экспериментальных исследований удалось получить более четкие закономерности для исследования краевых эффектов при индукционном нагреве прямоугольных заготовок, например слябов перед прокаткой. Как известно, в этом случае дополнительно к продольному краевому эффекту возникает так называемый поперечный краевой эффект, который не существует при нагреве цилиндрических заготовок [6, 13].

Однако преимущества аналитического решения сохраняются только до тех пор, пока окончательные формулы (если их вообще можно получить) допускают компактную и легко обозримую запись [5]. В настоящее время имеется несколько методик расчета прямоугольных индукторов, использующих в основном представление системы «индуктор – заготовка» в виде воздушного трансформатора.

Аналитический расчет может быть использован лишь в качестве прикидочного. Для точного расчета мощных ИНУ промышленной частоты для нагрева слябов весом 3–4 т, когда затраты на изготовление весьма велики, необходим более надежный метод расчета. Таким методом может быть метод физического моделирования с использованием геометрического подобия.

Авторами для моделирования использовалась частота 2500 Гц, что позволило проводить эксперименты на модели, имеющей размеры в 7,07 раз меньше, чем индуктор промышленной частоты.

Основным фактором, препятствующим широкому внедрению мощных индукционных установок для нагрева тел прямоугольной формы, например слябов, является сильная вибрация обмотки индуктора, которая сопровождается шумом, превышающим санитарные нормы, и может привести к разрушению установки. Суть проблемы заключается в следующем. В случае индукционного нагрева тел с резко изменяющейся кривизной поверхности, к которым в первую очередь относятся слябы, электромагнитные процессы в системе «индуктор – металл» характеризуются выделением тепловой энергии в заготовке и индукторе; кроме того, в этом случае необходимо учитывать объемную плотность электромагнитного поля и связанные с ней электродинамические усилия [11, 12]. Эта проблема острее проявляется при индукционном нагреве прямоугольных заготовок, особенно из немагнитных металлов. Авторами разработаны методы расчета электродинамических и виброакустических характеристик индукторов для нагрева

прямоугольных заготовок, которые можно использовать уже на стадии проектирования.

Действительно энергоэффективный технологический комплекс «ИНУ – деформация» можно спроектировать только с учетом его системы электроснабжения (СЭС). Под энергоэффективным проектированием СЭС комплекса ИНУ понимается построение наиболее экономичного ее варианта при соблюдении технических условий, накладываемых как элементами СЭС, так и потребителями – ИНУ. В качестве экономического критерия энергоэффективности целесообразно принимать суммарные приведенные затраты на СЭС, которые определяются технологическими, электротехническими и топологическими элементами системы электроснабжения [7, 8, 9, 14].

К технологическим относятся: технологическая схема процесса «ИНУ – деформация» с указанием режимов работы, количество и мощность ИНУ, частота тока, требования к надежности электроснабжения и регулированию мощности; к электротехническим: напряжение и число фаз (при частоте 50 Гц) ИНУ, количество и мощность источников питания, компенсирующих устройств, конструктивное исполнение сети; к топологическим: координаты расположения ИНУ, источников питания, компенсирующих устройств, а также конфигурация сети.

С ростом мощности ИНУ при их однофазном исполнении возникает проблема электромагнитной совместимости ИНУ с обычными потребителями, т. е. симметрирование группы ИНУ согласованием их одновременной работы затруднительно, а применение симметрирующих устройств становится неэкономичным. Поэтому целесообразными представляются два альтернативных решения: раздельное питание ИНУ и других потребителей или применение ИНУ в трехфазном исполнении. Следовательно, параметр числа фаз, имеющий одно из двух значений, целесообразно определять путем, независимым от задачи энергоэффективности. При фиксированном расположении технологического оборудования, а соответственно ИНУ и конденсаторных установок, проектируемыми топологическими параметрами будут лишь координаты расположения источников питания – трансформаторных подстанций. Поскольку расположение подстанций в цехе приходится выбирать в условиях территориальных ограничений, то целесообразно искать их координаты не на непрерывном множестве значений, а на дискретном, без ограничений. При радиальной схеме питания ИНУ длина линий может определяться приближенно для одной из двух конфигураций трассы сети, выполненной или по кратчайшему расстоянию между подстанцией и ИНУ, или с участками, параллельными координатным осям здания цеха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Егиазарян А.С., Зимин Л.С.* Повышение эффективности индукционного нагрева металла под деформацию // Индукционный нагрев. – СПб.: КОМЛИЗ-ПОЛИГРАФИЯ, 2012. – № 22. – С. 41-43.
2. *Егиазарян А.С., Зимин Л.С.* Комплексный подход к оптимальному проектированию индукционных установок // Известия вузов. Электромеханика. – 2014. – № 5. – С. 63-67.
3. *Егиазарян А.С., Зимин Л.С.* Особенности индукционного нагрева под деформацию // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2015. – № 3 (47). – С. 128-135.
4. *Егиазарян А.С.* Возможные подходы к проектированию индукторов // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2015. – № 1 (45). – С. 194-198.
5. *Егиазарян А.С., Зимин Л.С.* Аналитические исследования при индукционном нагреве // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2009. – № 1 (23). – С. 152-159.

6. Егиазарян А.С., Зимин Л.С. Поперечный краевой эффект при индукционном нагреве // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2010. – № 7 (28). – С. 231-233.
7. Егиазарян А.С., Зимин Л.С. Анализ режимов электроснабжения индукционных установок // Известия вузов. Электромеханика. – 2011. – № 3. – С. 74-76.
8. Егиазарян А.С., Зимин Л.С., Федотов М.Е. Электромагнитная совместимость систем электроснабжения с индукционными установками // Известия вузов. Электромеханика. – 2007. – Спецвыпуск. – С. 75.
9. Егиазарян А.С., Зимин Л.С. Оптимизация электроснабжения индукционных установок // Известия вузов. Электромеханика. – 2009. – Спецвыпуск. – С. 34.
10. Зимин Л.С., Егиазарян А.С. Особенности индукционного нагрева алюминиевых сплавов // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2016. – № 2 (50). – С. 203-208.
11. Зимин Л.С., Егиазарян А.С. Электродинамические процессы при индукционном нагреве // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2016. – № 1 (49). – С. 156-160.
12. Зимин Л.С., Егиазарян А.С. Виброзащита мощных индукторов // Вестник Самарского государственного архитектурно-строительного университета. Градостроительство и архитектура. – 2016. – № 3 (24). – С. 135-139.
13. Зимин Л.С., Егиазарян А.С. Проектирование прямоугольных индукторов // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2016. – № 3 (51). – С. 151-154.
14. Егиазарян А.С., Зимин Л.С. Анализ режимов электроснабжения индукционных установок // Известия вузов. Электромеханика. – 2011. – № 3. – С. 74-76.
15. Егиазарян А.С., Зимин Л.С. Особенности проектирования индукционных нагревательных установок // Известия вузов. Электромеханика. – 2016. – № 6 (548). – С. 44-48.

Статья поступила в редакцию 13 января 2017 г.

KEY PROBLEMS DURING USE INDUCTION HEATERS

L.S. Zimin, A.S. Yeghiazaryan

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

The main problems in the design, electrical equipment, power supply and operation of the equipment for induction heating are shown. The longitudinal and transverse edge effects are analyzed. Electromagnetic phenomena during induction heating is considered. The peculiarities of the three-phase inductors both in terms of heating uniformity, and electromagnetic compatibility of induction heaters with power supply system are shown. Optimization recommendations of the power supply system in industry with induction electrothermal units are given. The calculation method of the inductors used in the rolling and forging industry are analyzed. The advantages of the electromagnetic induction use at aluminum alloys heating are given. The integrated approach to the design of the induction heating equipment is shown.

Keywords: *inductor, deformation, heat, design, electricity, electrodynamic force installations.*

*Lev S. Zimin (Dr. Sci. (Techn.)), Professor .
Alexandra S. Yeghiazaryan (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.*

УДК 67.08

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ХРАНЕНИЯ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ САМАРСКОГО РЕГИОНА НА ОСНОВЕ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ИХ РЕСУРСНОЙ ЦЕННОСТИ

Д.В. Каширских

Самарский государственный технический университет
Россия, 443110, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассматривается проблема сравнительной оценки ресурсной ценности объектов хранения нефтесодержащих отходов на основе анализа данных о физико-химическом компонентном составе отходов с целью дифференциации ресурсных источников в анализируемой группе. Применение DEA (Data Envelopment Analysis) метода позволяет получить относительную оценку ресурсной ценности, которая определяет эффективность каждого конкретного объекта с точки зрения вторичного использования по отношению ко всем другим объектам анализируемого множества. Приведен пример применения разработанной методики к задаче сравнительной оценки ресурсной ценности группы, состоящей из двенадцати объектов хранения отходов нефтеперерабатывающей промышленности Самарского региона.

Ключевые слова: *отходы нефтеперерабатывающей промышленности, нефтешламы, ресурсная ценность, дифференциация объектов хранения, вторичное использование, data envelopment analysis.*

Эффективная промышленная утилизация отходов нефтеперерабатывающей промышленности предусматривает дифференциацию (ранжирование) их мест хранения по ресурсной ценности отходов, так как в первую очередь целесообразно утилизировать наиболее ценные и крупные объекты [1–4].

Под ресурсной ценностью понимается количественная оценка отходов, определяющая степень их пригодности для использования в качестве ресурса в технологиях вторичной переработки.

В статье рассматривается методика сравнительного анализа ресурсной ценности объектов хранения отходов, основанная на использовании DEA (Data Envelopment Analysis) метода.

Максимальную ресурсную ценность при таком анализе имеют объекты хранения отходов, для которых рассчитанная по DEA-методу относительная оценка равна единице. При этом такая оценка не означает максимально возможную концентрацию в отходах компонентов, пригодных для вторичной переработки. Это означает, что анализируемый объект является наиболее эффективным с точки зрения вторичного использования отходов по сравнению с другими сопоставимыми объектами анализируемой группы.

Достоинства рассматриваемого метода заключаются в отсутствии субъективного фактора при сравнении объектов с различными анализируемыми параметрами, а также в возможности сопоставлять при анализе объекты с параметрами, имеющими различный физический смысл и измеряемыми в различных единицах.

Рассмотрим в качестве примера применения DEA-метода сравнительную оценку ресурсной ценности на основе данных о количественном и качественном составе отходов нефтеперерабатывающей промышленности в $N = 12$ объектах размещения, представляющих собой амбары, илонакопители, нефтеловушки и нефтешламонакопители Самарского региона (табл. 1) [5].

В силу сложной физико-химической природы отходов нефтеперерабатывающей промышленности в достаточно глубоких (несколько метров) объектах размещения происходит разделение отходов на слои, что необходимо учитывать при расчете ресурсной ценности одного объекта размещения.

С учетом этого в общем случае компонентный состав отходов анализируемого n -го ресурсного источника, $n = \overline{1, 12}$, может быть представлен в виде матрицы:

$$P_n = \begin{pmatrix} P_{n11} & \dots & P_{n1k} \\ \dots & P_{nrj} & \dots \\ P_{ns1} & \dots & P_{nsk} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где $r, r = \overline{1, s_n}$ – номер слоя; s_n – количество слоев n -того ресурсного источника; $p_{nrj}, j = \overline{1, k}$ – численное значение j -того элемента компонентного состава отходов в r -том слое n -того ресурсного источника; k – количество анализируемых компонентов состава отходов.

Исходные данные по составу нефтесодержащих отходов [5], разделенных в анализируемых объектах хранения на 3 слоя, включают процентное содержание в единице массы слоя следующих пяти компонентов: 1) асфальтены и смолы; 2) минеральная часть; 3) сера; 4) вода; 5) светлые нефтепродукты. Следовательно, компонентный состав P_n отходов n -го объекта размещения анализируемой группы может быть представлен в виде (1) при $s = 3$ и $k = 5$.

С использованием компонентного состава P_n в форме (1) было рассчитано средневзвешенное по слоям процентное содержание компонентов состава нефтешлама на n -том объекте хранения отходов, тогда соответствующий компонентный состав P_n^m может быть представлен в виде матрицы-строки следующего вида (см. табл. 1):

$$P_n^m = [p_{n1}^m \ p_{n2}^m \ \dots \ p_{n5}^m], \quad (2)$$

где $p_{nj}^m = \sum_{r=1}^3 M_{nr} p_{nrj} / M_n; j = \overline{1, 5}$ – средневзвешенное процентное содержание j -того компонента состава отходов в n -том объекте размещения; $M_{nr} = S_n h_{nr} \rho_{nr}; r = \overline{1, 3}$ – масса отходов в r -том слое n -того объекта размещения (табл. 2), рассчитываемая с учетом h_{nr} – глубины каждого слоя в метрах; S_n – площади поверхности слоя, кв. м; ρ_{nr} – плотности отходов в конкретном слое [5]; $M_n = \sum_{r=1}^3 M_{nr}$ – общая масса отходов в n -том объекте размещения.

Для базового варианта применения DEA-метода структура комплексного показателя ресурсной ценности $R_n, n = \overline{1, N}$ каждого анализируемого объекта формируется на основе $m_{\text{вх}}$ значений входных величин $X_{ni}, i = \overline{1, m_{\text{вх}}}$ и $m_{\text{вых}}$ вых-

ных величин $Y_{nj}, j = \overline{1, m_{\text{вых}}}$ как отношение некоторого обобщенного (интегрального) выходного параметра к обобщенному входному параметру:

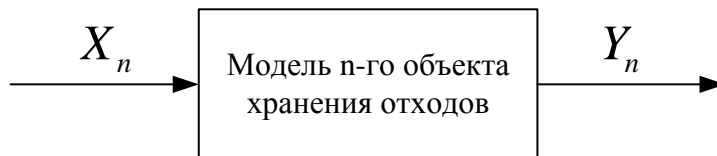
$$R_n = \frac{\sum_{j=1}^{m_{\text{вых}}} u_{nj} Y_{nj}}{\sum_{i=1}^{m_{\text{вх}}} v_{ni} X_{ni}}; u_{nj} \geq 0, j = \overline{1, m_{\text{вых}}}; v_{ni} \geq 0, i = \overline{1, m_{\text{вх}}}; n = \overline{1, N}, \quad (3)$$

где $u_{nj}, j = \overline{1, m_{\text{вых}}}$ – неотрицательные весовые коэффициенты, характеризующие относительный вклад каждого из выходных факторов $Y_{nj}, j = \overline{1, m_{\text{вых}}}$ в комплексный показатель ресурсной ценности R_n , и, соответственно, $v_{ni}, i = \overline{1, m_{\text{вх}}}$ – неотрицательные весовые коэффициенты при входных величинах $X_{ni}, i = \overline{1, m_{\text{вх}}}$.

Выбор отрицательно влияющих на ресурсную ценность входных величин $X_{ni}, i = \overline{1, m_{\text{вх}}}$ осуществляется так, чтобы увеличение каждой из них приводило к снижению величины ресурсной ценности, а выбор выходных величин $Y_{nj}, j = \overline{1, m_{\text{вых}}}$, наоборот, осуществляется таким образом, чтобы увеличение каждой из них приводило к росту ресурсной ценности.

При оценке ресурсной ценности существенное значение имеет отношение массы светлых нефтепродуктов M_n^{ce} к суммарной массе вредных примесей и воды M_n^{ep} , являющееся фактором, положительно влияющим на ресурсную ценность (см. табл. 1).

Тогда модель объекта размещения отходов может быть представлена в виде блока (см. рисунок), имеющего на входе вектор $X_n = (X_{ni} = p_{ni}^m), i = \overline{1, 4}$ параметров, отрицательно влияющих на ресурсную ценность, а на выходе – вектор $Y_n = (Y_{nj}), j = \overline{1, 2}$ факторов, положительно влияющих на ресурсную ценность: $Y_{n1} = p_{n5}^m; Y_{n2} = M_n^{ce} / M_n^{ep}$ (см. табл. 1).



Модель n -го объекта хранения отходов для оценки его сравнительной ресурсной ценности

Согласно DEA-методу, для сравнительной оценки ресурсной ценности каждого из $N=12$ объектов хранения отходов Самарского региона формулируются и последовательно решаются задачи математического программирования для $n = 1, 2, \dots, N$, каждая из которых может быть записана следующим образом:

$$R_n(X_n, Y_n) = \frac{\sum_{j=1}^2 u_{nj} Y_{nj}}{\sum_{i=1}^4 v_{ni} X_{ni}} \rightarrow \max_{(U_n, V_n) \in G} \quad (4)$$

при

$$\frac{\sum_{j=1}^2 u_{nj} Y_{nj}}{\sum_{i=1}^4 v_{ni} X_{ni}} \leq 1; u_{nj} \geq 0, j = \overline{1, 2}; v_{ni} \geq 0, i = \overline{1, 4}, \quad (5)$$

где $V_n = (v_{ni}), i = \overline{1, 4}; U_n = (u_{nj}), j = \overline{1, 2}$ – векторы весовых коэффициентов при входных и выходных параметрах соответственно n -того объекта хранения.

Как видно из рассчитанных относительных DEA-оценок (см. табл. 2), максимальное значение сравнительной ресурсной ценности (100 %) имеют объекты № 1, 2, 7, 9, которые образуют так называемую границу максимальной ресурсной ценности, относительно которой располагаются остальные исследуемые объекты.

Имея информацию об относительной оценке ресурсной ценности R_n каждого из 12 объектов, можно соответствующим образом проводить их ранжирование, т. е. дифференцировать ресурсные источники анализируемой группы по эффективности использования отходов каждого объекта в качестве ресурсов для вторичной промышленной переработки. В рассматриваемом случае можно выделить четыре подгруппы объектов хранения, имеющих сопоставимую ресурсную ценность:

– 1-я подгруппа: объекты хранения с высокой относительной ресурсной ценностью – от 90 до 100 % (№ 1, 2, 7–9, см. табл. 2);

– 2-я подгруппа: объекты хранения со средним уровнем сравнительной ресурсной ценности – от 75 до 89 % (№ 3, 4, 6, 12, см. табл. 2);

– 3-я подгруппа: объекты хранения с низким уровнем относительной ресурсной ценности – от 50 до 74 % (№ 10, 11 см. табл. 2);

– 4-я подгруппа: объекты хранения отходов, применение которых в качестве вторичных ресурсов нельзя считать целесообразным, т. е. объекты с относительной ресурсной ценностью ниже 50 % (№ 5, см. табл. 2).

Полученные результаты позволяют формировать эффективные управленческие решения относительно утилизации отходов, размещаемых в анализируемой группе объектов.

Выводы

Рассмотренный в статье подход позволил дифференцировать объекты хранения отходов Самарского региона по степени их пригодности для использования в качестве вторичных ресурсов переработки, которая, в свою очередь, определялась с помощью оценки ресурсной ценности, рассчитываемой на основе данных

о количественном и качественном физико-химическом компонентном составе отходов.

На основе DEA-метода проведена сравнительная оценка ресурсной ценности анализируемой группы, включающей 12 объектов хранения нефтесодержащих отходов Самарского региона, что позволило выделить подгруппы объектов с высокой, средней и низкой ресурсной ценностью, а также подгруппу объектов, применение которых в качестве вторичных ресурсов нельзя считать целесообразным.

Таблица 1

Параметры объектов размещения отходов

№ п/п, <i>n</i>	Наименование объекта размещения отходов	Входные параметры модели X_{ni} , $i=1,2,3,4$				Выходные параметры модели Y_{nj} , $j=1,2$	
		Средневзвешенное содержание компонентов нефтешлама на объекте размещения отходов, %/т					Отношение массы светлых нефтепродуктов к общей массе примесей и воды M_n^{cs} / M_n^{ep}
		Асфальтены, смолы, P_{n1}	Минеральная часть, P_{n2}	Сера, P_{n3}	Вода, P_{n4}	Светлые нефтепродукты, P_{n5}	
1	Амбар № 1	9,30	14,27	0,58	17,33	58,52	1,41
2	Амбар № 2	13,21	16,27	0,84	7,81	64,79	1,84
3	Амбар № 4	14,34	10,05	0,85	57,74	51,48	1,06
4	Амбар № 5	1,08	13,40	0,36	58,92	7,56	0,08
5	Дрип на газопроводе	7,14	2,45	1,03	69,13	16,23	0,19
6	Илонакопитель № 1	7,43	8,14	0,58	52,65	38,19	0,62
7	Илонакопитель № 2	9,77	1,25	1,24	22,41	66,69	2,00
8	Илонакопитель № 3	9,24	2,07	1,06	24,21	58,61	1,42
9	Илонакопитель № 4	8,62	2,87	1,27	28,55	62,39	1,66
10	Илонакопитель № 5	4,58	6,37	0,96	63,72	21,44	0,27
11	Илонакопитель № 7	5,95	5,85	1,20	61,95	36,08	0,56
12	Илонакопитель № 8	5,67	6,26	1,26	50,12	41,76	0,72

Таблица 2

Массы слоев в объектах размещения отходов и интегрированная DEA-оценка

№ п/п, <i>n</i>	Наименование объекта размещения отходов	Масса слоя, т			Интегральная DEA-оценка R_n
		Верхний слой	Средний слой	Нижний слой	
1	Амбар № 1	200,6	477,1	401,9	1
2	Амбар № 2	25,8	$4 \cdot 10^{-7}$	81,9	1
3	Амбар № 4	40,9	$1,4 \cdot 10^{-7}$	58,5	0,8047
4	Амбар № 5	77,8	827,0	245,5	0,7531
5	Дрип на газопроводе	15,3	185,3	15,5	0,28
6	Илонакопитель № 1	4464,3	4599,4	2919,5	0,8278
7	Илонакопитель № 2	2401,2	2651,0	1550,4	1
8	Илонакопитель № 3	2191,4	5558,0	1991,0	0,9991
9	Илонакопитель № 4	1534,7	1671,7	957,7	1
10	Илонакопитель № 5	2527,6	6340,7	2454,4	0,5129
11	Илонакопитель № 7	2033,2	2223,3	1170,2	0,6886
12	Илонакопитель № 8	2166,7	2352,4	1095,1	0,8701

Достоинства рассматриваемого метода заключаются в отсутствии субъективного фактора при сравнении объектов с различными анализируемыми параметрами, а также в возможности сопоставлять при анализе объекты с параметрами, имеющими различный физический смысл и измеряемыми в различных единицах.

Необходимо отметить, что DEA-методика дает относительную, а не абсолютную оценку ресурсной ценности, т. е. она определяет, насколько каждый конкретный объект эффективен с точки зрения вторичного использования по отношению ко всем другим объектам анализируемого множества, что является ключевой особенностью рассмотренного подхода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Быков Д.Е.* Комплексная многоуровневая система исследования и переработки промышленных отходов: Дис. ... докт. техн. наук: 03.00.16 / СамГТУ и СГАСА. – Самара, 2004. – 303 с.
2. *Мазлова Е.А., Мещеряков С.В.* Проблемы утилизации нефтешламов и способы их переработки. – М.: Ноосфера, 2001. – 56 с.
3. *Мухтаров Я.С., Суфиянов Р.Ш., Дашков В.А.* Анализ источников образования нефтесодержащих отходов / Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15. – № 17. – С. 220-223.
4. *Пряничникова В.В., Бикбулатов И.Х., Бахонина Е.И.* Рекультивация нефтешламовых амбаров с использованием геомембранной пленки и нефтезагрязненных почв // Башкирский химический журнал. – 2013. – Т. 20. – № 1. – С. 22-27.
5. *Ермаков В.В.* Классификация нефтешламонакопителей и прогнозирование процесса биодеградации отходов при их ликвидации: Дис. ... канд. техн. наук: 03.00.16 / СамГТУ. – Самара, 2010. – 132 с.

Статья поступила в редакцию 14 января 2017 г.

DIFFERENTIATION OF OBJECTS OF STORAGE OF OIL-CONTAINING WASTES OF THE SAMARA REGION ON THE BASIS OF COMPARATIVE EVALUATION OF THEIR RESOURCE VALUES

D.V. Kashirskikh

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443110, Russian Federation

The paper is devoted to the problem of comparative evaluation of the resource value of storage facilities for oil-containing wastes on the basis of the analysis of data on the physico-chemical composition of waste in order to differentiate resource sources in the analyzed group. The application of DEA (Data Envelopment Analysis) method allows to obtain a relative estimation of the resource value, i.e. it determines effectiveness of each particular object from the point of view of secondary use with respect to all other objects of the analyzed set. An example of the application of the developed methodology to the problem of comparative evaluation of the resource value of a group consisting of twelve waste storage facilities of the oil refining industry in Samara region is given.

Keywords: *waste oil industry, oil-containing sludge, resource value, differentiation of storage facilities, secondary use, data envelopment analysis.*

Dmitry V. Kashirskikh, Postgraduate Student.

УДК 621.317.088

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ УГЛА ПОВОРОТА ТЕЛА В ПРОСТРАНСТВЕ

О.Г. Корганова

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

При необходимости определять поворот объекта в пространстве на определенный угол могут быть использованы различные устройства. Одно из них разработано на кафедре ИИТ СамГТУ. Оно содержит четыре диафрагмы, образующие камеру, в которой находится шар, выполненный из изоляционного материала. В исходном положении объекта шар давит на одну из диафрагм, а остальных только касается. Затем по мере того, как меняется пространственное положение тела и связанного с ним преобразователя, шар будет давить на ту или иную диафрагму, прогибая ее и тензорезисторы, наклеенные на другую сторону диафрагм, перераспределяя вектор силы притяжения шара к земле между диафрагмами. По этим силам с помощью системы обработки информации определяется угол наклона объекта относительно горизонта.

Ключевые слова: преобразователь, диафрагма, тензорезисторы, мост, логическое устройство, устройство определения максимума.

В ряде промышленных приложений для правильного ведения технологического процесса надо менять положение объектов в пространстве. Например, сборка объекта производится, когда он находится в горизонтальном положении, а затем его следует установить под определенным углом к горизонту.

Выполняют эту операцию электроприводы, которые управляются сигналами, зависящими от разности текущего положения тела и того положения, которое тело должно занять в результате манипуляций с ним. Причем угловое положение тела может изменяться от 0 до 360°.

Существуют и серийно выпускаются приборы для решения подобных задач, использующие различные принципы действия. Например, дифференциально-трансформаторные датчики перемещения и положения объектов, магнитоотрицательные и ультразвуковые датчики, предназначенные для этих же целей, инклинометры и наклонометры, интеллектуальные инклинометры (со встроенным процессором), которые обеспечивают возможность измерения во взаимно перпендикулярных плоскостях. Выпускаются абсолютные энкодеры с кодовыми дисками, инкрементные энкодеры и т. п.

Погрешности этих приборов могут быть снижены до 0,01° [1].

Они применяются в машино- и судостроении, в аэрокосмических изделиях, системах безопасности для РЖД, охранных системах, в нефтегазовой промышленности и т. п. и обладают высокой точностью и надежностью. Но у них есть некоторые недостатки, ограничивающие область их применения. В частности, диапазон измерения составляет в основном $\pm 30^\circ$, редко $\pm 90^\circ$.

Существуют области техники, для которых требуется иметь более широкие границы этого диапазона, например авиация, космическая техника и т. п., где в ряде случаев требуется определить угол поворота тела (или его текущее поло-

жение) в интервале $0 \div 360^\circ$.

Для решения указанной задачи в данной области техники на кафедре «Информационно-измерительная техника» СамГТУ был разработан преобразователь угла поворота тела в пространстве, который может измерять изменение угла поворота тела в интервале $0 \div 360^\circ$. Его схема представлена на рис. 1.

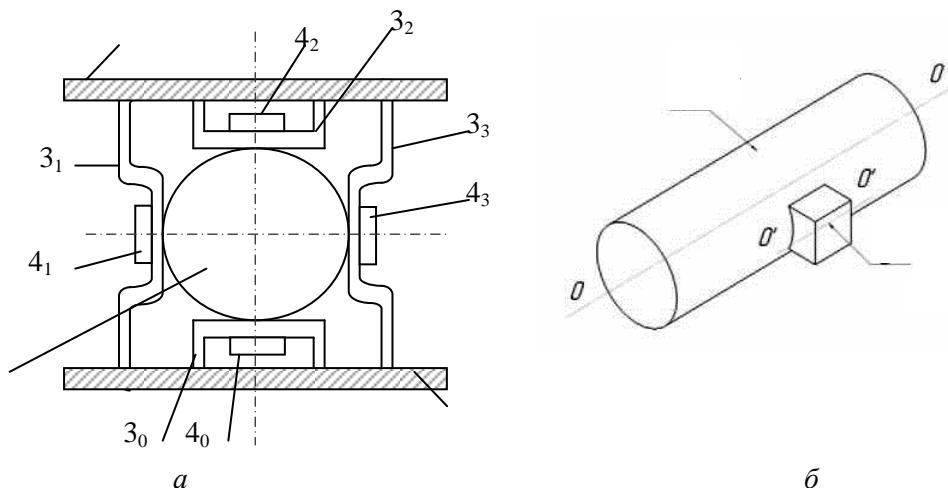


Рис. 1. Схема преобразователя положения тела в пространстве (а) и расположение поднимаемого объекта и преобразователя (б):

1 – корпус преобразователя положения тела; 2 – шар определенной массы, выполненный из изоляционного материала; 3₀, 3₁, 3₂, 3₃ – диафрагмы; 4₀, 4₁, 4₂, 4₃ – тензорезисторы; 5 – поднимаемый объект; 6 – преобразователь положения тела, расположенный на поднимаемом объекте

Преобразователь функционирует следующим образом: диафрагмы 3, которые крепятся к корпусу 1, образуют камеру, внутри которой расположен шар 2. В исходном положении тела 5, когда оно расположено горизонтально, шар своей массой давит на диафрагму 3₀, а остальных только касается. Схематично эта картина представлена на рис. 2.

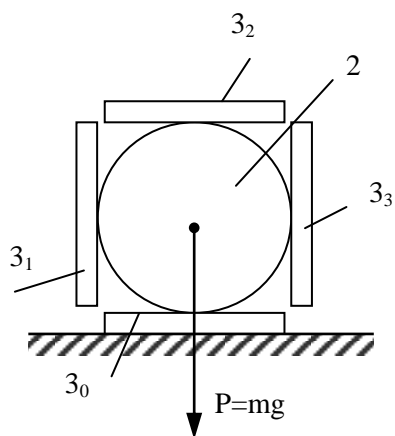


Рис. 2. Исходное положение шара относительно диафрагм

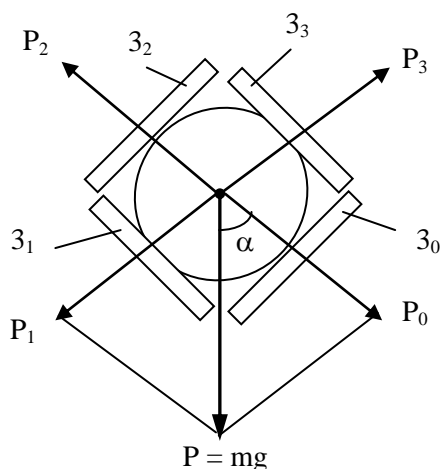


Рис. 4. Перераспределение силы тяжести шара между диафрагмами

Сила, с которой шар давит на диафрагму 3_0 :

$$P = mg,$$

где m – масса шара; g – ускорение свободного падения.

Затем по мере того, как меняется в пространстве положение тела 5 и связанного с ним преобразователя, вектор P будет давить на ту или иную диафрагму, так как меняется положение диафрагм относительно шара 2, а сила тяжести все время направлена к земле [2].

На диафрагмах крепятся тензорезисторы $4_0, 4_1, 4_2, 4_3$, сопротивления которых зависят от прогиба мембран [2]. Эти тензорезисторы включаются в соответствующие плечи мостов M_0, M_1, M_2, M_3 (рис. 3). При этом мосты M_1, M_2, M_3 в исходном состоянии уравновешены, а мост M_0 при полном прогибе диафрагмы разбалансирован, т. е. мосты M_1, M_2, M_3 уравновешены при отсутствии деформации тензорезисторов $4_1, 4_2, 4_3$ (на схеме T_0, T_1, T_2, T_3).

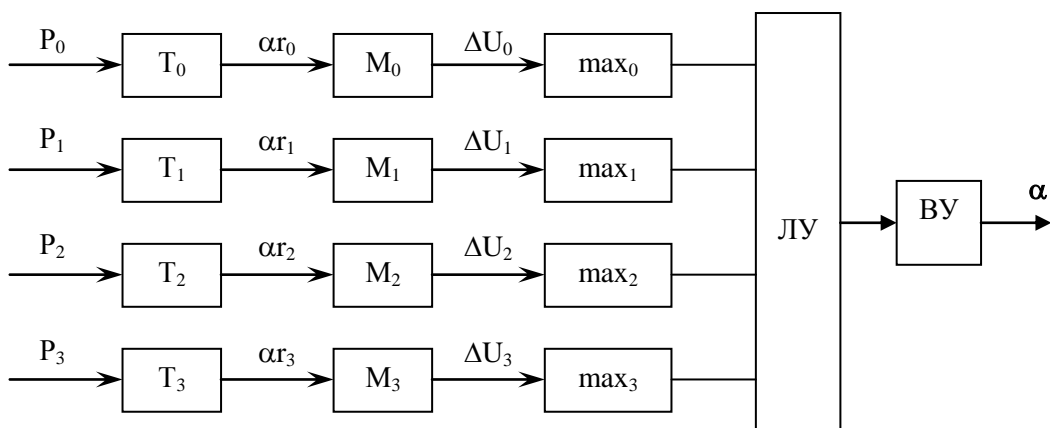


Рис. 3. Структура системы определения положения тела в пространстве

Когда тело 5 (рис. 1, б) начинают поднимать, то вектор силы P начинает перераспределять свое давление относительно диафрагм, так как направление силы тяжести всегда направлено к земле. Вектор P при этом раскладывается на составляющие. Давление на диафрагму 3_0 уменьшается, а на 3_1 начинает увеличиваться, так как появится составляющая P_1 (рис. 4):

$$P_1 = P \cdot \sin \alpha, \quad (1)$$

где α – угол подъема тела.

При этом нарушается равновесие мостов M_0 и M_1 , а M_2 и M_3 будут оставаться уравновешенными. Информация будет считываться с M_1 до тех пор, пока P_1 не достигнет максимума, а это будет тогда, когда $\alpha = 90^\circ$.

При дальнейшем росте α шар будет оказывать давление на 3_1 и 3_2 , но информация будет считываться с тензорезистора 4_2 :

$$P_2 = P \cdot \sin(90 + \alpha) = P \cdot \cos \alpha. \quad (2)$$

Считывание будет происходить до тех пор, пока P_2 не достигнет максимума, при этом α будет равно 180° .

Далее при росте угла поворота будут задействованы 3_2 и 3_3 . Но считывание информации будет происходить с 4_3 :

$$P_3 = P \cdot \sin(180 + \alpha) = -P \cdot \sin \alpha. \quad (3)$$

А после того, как движение объекта будет продолжено, считывание будет происходить с тензорезистора 4₄:

$$P_4 = P \cdot \sin(270 + \alpha) = -P \cdot \cos\alpha. \quad (4)$$

Таким образом, структура системы определения положения тела в пространстве, представленная на рис. 3, кроме уже рассмотренных блоков T₀, T₁, T₂, T₃ преобразования давления шара в изменение сопротивления тензорезисторов и мостов, преобразующих изменение сопротивления тензорезисторов в изменение напряжения разбаланса мостов M₀, M₁, M₂, M₃, должна содержать устройства определения максимума max₀, max₁, max₂, max₃, логическое устройство ЛУ, определяющее, с какого моста осуществлять считывание информации, и вычислительное устройство ВУ, которое будет высчитывать и выдавать значение угла поворота объекта относительно его горизонтального положения.

Это даст возможность воздействовать на электроприводы с целью изменения положения тела на заданный угол.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Современные датчики. Справочник / под ред. Е.Л. Свинцова. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
2. Корганова О.Г. Дифференциальный преобразователь положения тела // Информационно-измерительные и управляющие системы. Сб. научных статей. – Вып. 2(14). – Самара: СамГТУ, 2016. – С. 27-30.

Статья поступила в редакцию 7 ноября 2016 г.

CONVERTER OF ANGLE BODY ROTATION IN SPACE

O.G. Korganova

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

To measure the rotation on of object in space by a certain angle different devices may be used. One of them is developed at the Department of Measure Techniques of Samara State Technical University. It contains four diaphragm placed in a chamber in which the ball is located made of insulating material. In the initial object position, the ball presses on one of the diaphragms and only touches the others. Then as the spatial position of the body and the transducer changes, the ball will press on a particular diaphragm bending it and the strain gauges on the other side of the diaphragm redistributing the force vector of gravity of the ball to the ground between the diaphragms. By these forces the angle of body relative to the horizon is determined by the use of the processing information system.

Keywords: *converter, diaphragm, strain gages, bridge, logic device, the device for maximum determining.*

УДК 620.9.001.5

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ ПОМОЩИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА С ВНЕДРЕНИЕМ АКТИВНО-АДАПТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ю.П. Кубарьков, Я.В. Макаров, К.А. Голубева

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

Электроснабжение большей части потребителей осуществляется с использованием радиальных электрических сетей, в которых основным недостатком является наличие одного источника питания. Одной из мер разгрузки наиболее загруженных элементов сети является уменьшение потребляемой мощности путем локальной выработки электроэнергии при помощи применения распределенной генерации. Такие меры приводят к внедрению активно-адаптивных элементов. Процесс использования активно-адаптивных элементов можно осуществлять с помощью различных методов оптимизации (алгоритмов). В данной работе рассматривается применение эволюционного алгоритма, а именно пример оптимизации радиальной распределительной сети с помощью одного из самых развитых классов эволюционного алгоритма – генетического алгоритма.

Ключевые слова: *методы оптимизации, генетические алгоритмы, потери мощности, распределенная генерация, уровни напряжения.*

Введение

Электроснабжение большей части потребителей осуществляется с использованием радиальных электрических сетей. Главным недостатком таких сетей является наличие одного источника питания. Наиболее загруженными элементами сети являются линии электропередачи (ЛЭП), расположенные вблизи главной понизительной подстанции [1].

Одним из способов разгрузки ЛЭП и повышения их пропускной способности является уменьшение потребляемой мощности путем локальной выработки электроэнергии. Это дает толчок к внедрению активно-адаптивных элементов (ААЭ) в распределительные сети, которые играют важную роль в энергетической системе. Использование распределенной генерации (РГ) в пассивной распределительной сети делает ее активной распределительной сетью [2].

Распределенные источники помогут эффективно снизить потери мощности в сети и улучшить стабилизацию уровней напряжения на шинах потребителей в радиальных распределительных сетях (РРС).

Эффективность применения ААЭ можно контролировать при помощи различных методов оптимизации.

Многие алгоритмы строятся на базе генетических алгоритмов (ГА), эволюционной стратегии, эволюционного программирования, алгоритмов дифференциальной эволюции и генетического программирования.

Такие технологии дополняют друг друга и применяются в разных комбинациях или самостоятельно при оценке режимов работы интеллектуальных систем.

*Юрий Петрович Кубарьков (д.т.н.), профессор кафедры «Электрические станции».
Ярослав Викторович Макаров, ассистент кафедры «Электрические станции».
Кристина Анатольевна Голубева, аспирант.*

Актуальность и цель применения генетических алгоритмов

Под генетическим алгоритмом подразумевается простая модель природной эволюции, которая реализуется как компьютерная программа. В ГА используются как аналоги механизма генетического наследования, так и аналоги естественного отбора.

Надо заметить, что, соответствуя определению приспособленности, главной целью такой искусственной эволюции будет именно создание лучших решений.

Сначала функция ГА воспроизводит определенное число возможных решений. Назначается функция оптимальности $f(x)$, которая определяет эффективность каждого из найденных решений, а для того чтобы полученные решения не выходили из области допустимых значений, в функцию допустимо включать штрафные функции. Ввиду того, что качество решения, как правило, оценивается некоторой оценочной функцией, ГА в свою очередь называют методами оптимизации многоэкстремальных функций.

Достоинства и недостатки генетических алгоритмов

Генетический алгоритм является часто используемым, но не единственным возможным методом решения задач оптимизации. Уже долгое время существуют два главных пути решения такого рода задач – локально-градиентный и переборный. Такие методы имеют как достоинства, так и недостатки.

Если комбинировать переборный и градиентный методы, то можно рассчитывать на получение хотя бы приближенного решения, точность которого будет увеличиваться при увеличении времени расчета.

ГА представляет собой именно такой комбинированный метод. Механизмы постепенного приближения в каком-то смысле реализуют переборную часть метода, а отбор лучших решений – градиентный спуск.

Исследования и расчеты

Для оптимизации радиальной распределительной сети (рис. 1) номинальным напряжением 35 кВ был произведен анализ использования источников распределенной генерации на шинах потребителей для покрытия собственных нужд подстанций без выдачи мощности на ближайшие соседние подстанции при помощи генетического алгоритма. Такие меры в первую очередь связаны с сохранением существующего потокораспределения в электрической сети, что не приводит к изменению уставок в комплектах релейной защиты на подстанциях собственного потребителя при сохранении архитектуры всей сети.

В состав распределительной сети входят: 11 подстанций (п/ст) с собственной нагрузкой S_n , 10 ЛЭП (W1-W10), источник питания E1, трансформаторы (T1–T10).

Характеристики ЛЭП и нагрузок сведены в таблицу.

Для оптимизации электрической сети использовался генетический алгоритм, производимый путем перебора узлов установки источников РГ.

Ввиду того, что нагрузка на каждой подстанции отличается, а источники распределенной генерации покрывают только собственные нужды подстанции, положительный эффект от внедрения источников будет зависеть от величины нагрузки и топологии сети.

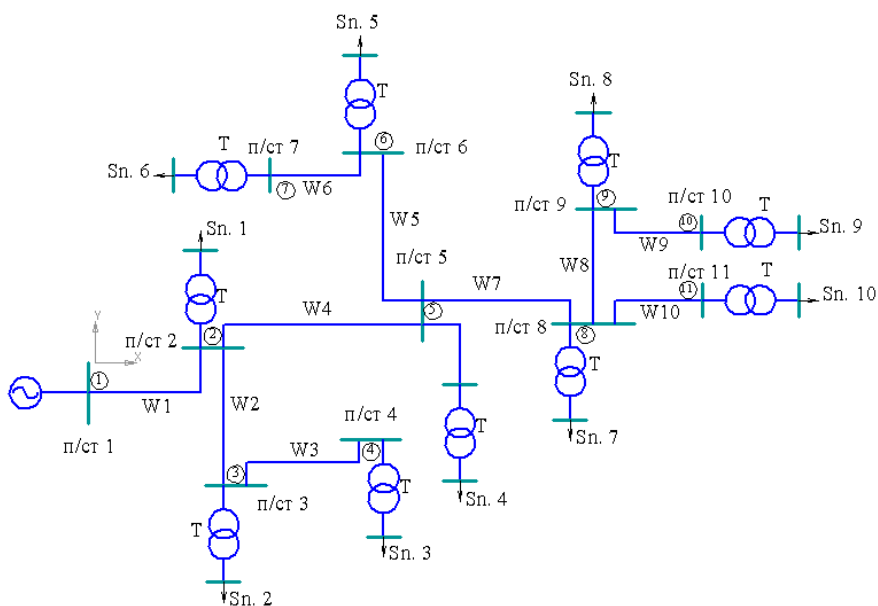


Рис. 1. Схема электрической сети

Характеристики ЛЭП и нагрузок

Характеристики ЛЭП			Характеристики нагрузок		
Наименование	Длина, км	Марка провода	№ п/ст	P, кВт	Q, квар
W1	9	АС-150/11	2	1500	720
W2	4	АС-120/11	3	700	340
W3	4	АС-120/11	4	500	240
W4	9	АС-150/11	5	1000	480
W5	4	АС-120/11	6	500	240
W6	3	АС-120/11	7	400	190
W7	7,5	АС-120/11	8	1000	480
W8	4	АС-120/11	9	800	380
W9	3	АС-120/11	10	500	240
W10	4	АС-120/11	11	700	340

Для оптимизации электрической сети использовался генетический алгоритм, производимый путем перебора узлов установки источников РГ.

Ввиду того, что нагрузка на каждой подстанции отличается, а источники распределенной генерации покрывают только собственные нужды подстанции, положительный эффект от внедрения источников будет зависеть от величины нагрузки и топологии сети.

Анализ включения РГ показал, что наилучший эффект по показателю уровня напряжения на шинах подстанций достигается при установке РГ в узле 9 (рис. 2).

На рис. 3 представлен график потерь активной и реактивной мощности для нормального режима и режимов при установке РГ в указанные узлы.

Потери активной и реактивной мощности при установке распределенного источника в узле 9 имеют наименьшие значения.

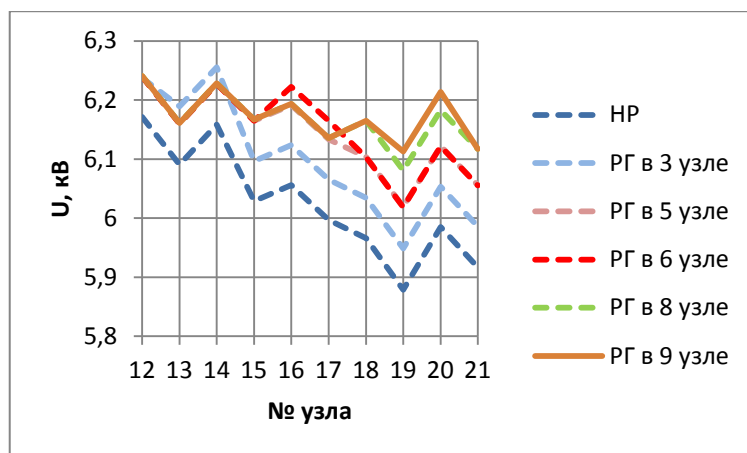


Рис. 2. Изменения напряжений при установке РГ в узлы и в нормальном режиме (НР)

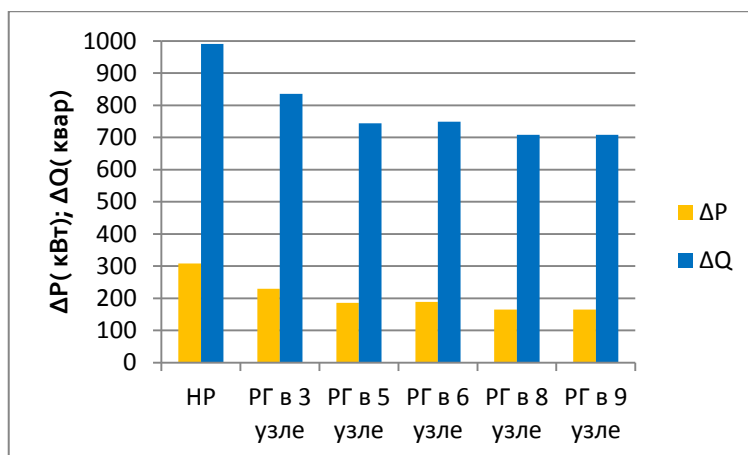


Рис. 3. Потери активной (P) и реактивной (Q) мощности при установке РГ в узлы и в нормальном режиме (НР)

Выводы

Установка источников распределенной генерации приводит к увеличению уровня напряжения на шинах потребителей, при этом эффект от внедрения будет зависеть от топологии сети и нагрузки ближайших потребителей. Кроме этого наблюдается сокращение потерь мощности в элементах сети.

Для более эффективного сокращения потерь мощности в рассматриваемой сети возможна установка батарей статических конденсаторов на шинах потребителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кубарьков Ю.П., Голубева К.А.* Управление уровнем напряжения и потерь в электрических сетях с активно-адаптивными элементами // Электроэнергетика глазами молодежи: труды VI международной научно-технической конференции, 9–13 ноября 2015, Иваново. – В 2 т.
2. *Dolan M.J., Davidson E.M., Kockar I., Ault G.W., McArthur, and S.D.J.* Distribution Power Flow Management Utilizing an Online Optimal Power Flow Technique. IEEE Transactions on Power Systems, vol. 27, no. 2, pp. 790-799, May 2012.

Статья поступила в редакцию 1 февраля 2017 г.

OPTIMIZATION OF OPERATION MODE OF DISTRIBUTION NETWORKS WITH OIL INDUSTRY ACTIVE-ADAPTIVE ELEMENTS

Y.P. Kubarkov, Y.V. Makarov, K.A. Golubeva

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

Power supply most of the consumers is done by the use of the radial electric networks in which the main drawback is the presence of a single power supply. One of the unloading measures of the busiest network elements is to reduce the power consumption by the local power generation by means of the use of distributed generation. Such measures lead to the introduction of active-adaptive elements. The process of using active-adaptive elements can be carried out through a variety of optimization (algorithms) methods. In this paper the use of the evolutionary algorithm is considered namely, the example of the optimization of radial distribution network with one of the most advanced classes of evolutionary algorithm the genetic algorithm.

Keywords: optimization methods, genetic algorithms, loss of power, distributed generation, voltage levels.

*Yury P. Kubarkov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Yaroslav V. Makarov, Postgraduate Student.
Kristina A. Golubeva, Postgraduate Student.*

УДК 66.041.6:662.951.2

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ СИСТЕМЫ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА ПЕЧЕЙ УСТАНОВОК ПИРОЛИЗА НА ОСНОВЕ ГОРЕЛОК ТИПА АГГ-3М

А.С. Печников¹, С.А. Печников²

¹ Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

² НТЦ «КОРПУ» АО «Газпром промгаз»
Россия, 142702, Московская обл., Ленинский р-н, г. Видное, ул. Вокзальная, 23

E-mail: PetchnikovAS@mail.ru

С целью повышения эффективности, надежности и безопасности работы трубчатых печей существующих установок пиролиза большой единичной мощности выполнена разработка новой системы сжигания топлива на основе серийно выпускаемых горелок типа АГГ-3М. Предложена новая схема размещения горелок на излучающих стенах топки печи. Проведены сравнительные обследования существующей системы и предложенной новой системы сжигания топлива, которые показали эффективность выполненных мероприятий по модернизации печи.

Ключевые слова: система сжигания топлива, горелка газовая типа АГГ-3М, модернизация, обследование теплотехническое.

Для трубчатых печей установок пиролиза сотрудниками СамГТУ разработана система сжигания топлива (ССТ), в которой проектные горелки (112 инжекционных горелок чешской фирмы «Хепос») заменены на 24 отечественные горелки вихревого типа АГГ-2М [1, 2, 5].

С целью увеличения равномерности обогрева пирозмеевиков небольшим количеством мощных горелок типа АГГ в период замены кладки печей на одной из установок ЭП-300 первоначальная схема коридорного расположения горелок на излучающих стенах топки была изменена на шахматное расположение горелок АГГ-2М на тех же отметках по высоте топочной камеры. Такая схема предполагает лучшее совмещение геометрии обогреваемых потоков с расположением противоположащих горелок.

Эффективность этого мероприятия определялась теплотехническими обследованиями модернизированных печей. При обследовании снимались режимные параметры работы печей, определялся состав топлива и сырья, проводился анализ продуктов сгорания топлива с помощью переносного хроматографа TESTO-350 по высоте топки и дымовому тракту печей с определением качества сжигания топлива, температур в точках замеров, избытка воздуха и КПД печей, выполнены замеры температурных полей кладки и стенок змеевиков печи с целью определения равномерности обогрева теплопередающей поверхности модернизированными горелочными устройствами АГГ-2М.

Александр Сергеевич Печников (к.т.н.), доцент кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств».

Сергей Александрович Печников, заведующий отделом технологического проектирования объектов добычи газа НТЦ «КОРПУ» АО «Газпром промгаз».

В период обследования лаборатория завода предоставила следующий состав сжигаемого в печах топлива, % об.:

$$H_2 = 12,31; CH_4 = 79,69; C_2H_4 = 2,49; C_2H_6 = 5,20;$$

$$C_3H_6 = 0,01; C_3H_8 = 0,08; \sum C_4 = 0,31,$$

по которому расчетным путем определены:

- плотность топливного газа – 0,692 кг/нм³;
- теплота сгорания топливного газа – 35736 кДж/нм³.

Режимные параметры работы печи F-08B при пиролизе бензина на момент обследования:

- расход сырья – 9,3 т/ч (по потокам 2,5 – 2,4 – 2,1 – 2,3);
- расход пара разбавления – 4,95 т/ч (по потокам 1,25 – 1,25 – 1,2 – 1,25);
- расход топлива – 1,3 т/ч;
- температура пирогаза на выходе из печи, °С – (830 ÷ 830–831 ÷ 832);
- температура дымовых газов на выходе из печи, °С – (275 ÷ 298).

Состояние печи и ССТ на момент обследования:

- печь оборудована 24 горелками АГГ-2М, расположенными в шахматном порядке по высоте топки в 3 яруса;
- горелки оснащены глушителями шума – регуляторами инжекции воздуха стандартной конструкции;
- кладка и змеевики – без видимых дефектов;
- состояние горелок – работоспособное, горение отлажено, атмосфера в топке чистая.

Основные результаты обследования печи с новой схемой размещения горелок АГГ-2М на излучающих стенах представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Результаты анализов проб дымовых газов печи пиролиза F-08B с шахматным расположением горелок АГГ-2М

Точка отбора пробы	Компонент дымового газа в печи						
	O ₂ , % об.	CO ₂ , % об.	CO, ппм	NO _x , ппм	Δр, Па	к.р.в.	Температура, °С
Нижний ярус	10,3	6,1	0	65	129	1,95	943
Средний ярус	5,3	8,9	0	85	102	1,34	1035
Верхний ярус	5,7	8,7	0	67	72	1,38	1053
Перевал	3,0	10,2	0	80	48	1,16	1035
На выходе из печи	8,9	6,8	0	55	200	1,74	298

КПД печи (без учета потерь тепла через кладку печи) составляет 82,2 %.

Из табл. 1 видно, что температурный уровень в топке в районе нижнего яруса снижен почти на 100 °С из-за поступления избыточного воздуха через горелки нижнего яруса. На выходе из топки процесс выгорания топлива завершен с небольшим запасом по кислороду. Однако в камере конвекции наблюдаются дополнительные подсосы через неплотности в обшивке печи, что снижает КПД печи.

Состояние разогрева кладки и стенки змеевиков печи характеризуется данными табл. 2.

Таблица 2

Результаты пирометрии кладки и стенки (через дробь) выходных труб змеевика печи F-08В

Отметка по высоте топки	Температура, °С (змеевик/кладка)			
	Поток Н	Поток G	Поток F	Поток E
Верхний ярус	945/1010	950/1025	950/1010	950/1020
Средний ярус	955/1000	960/1040	955/1035	970/1050
Средний ярус	930/990	945/1010	950/1015	940/1040
Нижний ярус	905/940	920/970	925/960	910/950

Из табл. 2 видно, что нижний ярус кладки и нижняя часть змеевика недогреваются. Средняя часть имеет максимумы температур, которые снижаются в сводовой части печи. Такие температурные перекосы вызваны прежде всего различным разрежением по высоте топки и неотрегулированностью поступления воздуха через горелки, которое необходимо выполнять с помощью регуляторов инжекции, а также расположением мощных горелок типа АГГ (в проекте имеется вынужденное отклонение расположения горелок от равномерного для обхода металлоконструкций в местах их установки).

В настоящее время выполненный по результатам многочисленных обследований печного блока анализ состояния и работы печей установки показал, что печи имеют большой физический износ и требуют модернизации кладки и системы сжигания топлива как не отвечающие современным требованиям по теплопроводу к реакционным трубам, надежности и безопасности при эксплуатации.

Согласно рекомендациям разработчиков горелочных устройств типа АГГ [3] с целью устранения выявленных недостатков был разработан проект установки 54 горелок АГГ-3М (меньшей мощности, чем ранее установленные горелки АГГ-2М) по расчетной схеме их размещения [4]. Новые горелки переоборудованы регуляторами инжекции воздуха – глушителями шума более надежной конструкции, оснащены пилотными горелками ПГ-28М-КП, автоматической системой розжига и контроля наличия пламени.

Одновременно с этими мероприятиями по проекту ООО «Алитер-Акси» произведена замена кладки печи на современные бетонные смеси, а также установлены поворотный шибер и штатный кислородомер на выходе дымовых газов из печи.

Все эти мероприятия положительно сказались на работе печи, что подтверждается результатами теплотехнических обследований печи, выполненных на различных нагрузках по сырью в период ее работы с усовершенствованной системой.

В период обследований состав сжигаемого в печи топлива был следующим, % об.:

$$\begin{aligned} & \text{H}_2 = 17,6; \text{CH}_4 = 77,62; \text{C}_2\text{H}_4 = 0,79; \text{C}_2\text{H}_6 = 3,73; \\ & \text{C}_3\text{H}_6 = 0,04; \text{C}_3\text{H}_8 = 0,05; \sum \text{C}_4 = 0,02; \sum \text{C}_5 = 0,15; \end{aligned}$$

- плотность топливного газа – 0,639 кг/нм³;
- теплота сгорания топлива – 32869 кДж/нм³ (51470 кДж/кг);

– плотность сырья – 0,684 кг/м³.

Основные теплотехнические показатели работы печи F-08B в режиме пиролиза бензина при сопоставимой нагрузке:

- расход сырья – 9185 кг/ч (по потокам 2397 – 2051 – 2217 – 2520);
- расход пара разбавления – 4834 кг/ч (по потокам 1225 – 1201 – 1200 – 1208);
- расход топлива – 1077 кг/ч;
- температура пирогаза на выходе из печи, °С – (826–826–826–825);
- температура дымовых газов на выходе из печи °С – (316 ÷ 304).

Результаты представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Результаты анализов проб дымовых газов печи F-08B с новой ССТ

Точка отбора пробы	Компонент дымового газа в печи						Температура, °С
	O ₂ , % об.	CO ₂ , % об.	CO, ппм	NO _x , ппм	Δр, Па	к.р.в.	
Нижний ярус	4,6	9,0	0	51	73	1,26	1039
Средний ярус	2,9	10,0	0	54	24	1,16	1016
Верхний ярус	2,4	10,3	0	55	5	1,13	1035
На выходе из печи	8,9	6,8	0	55	200	1,74	298

КПД печи (без учета потерь тепла через кладку печи) – 84,8 %.

Состояние разогрева кладки печи характеризуется следующими данными замеров оптическим пирометром:

- температуры стенки выходных труб: поток Н – 935 °С, поток G – 940 °С, поток F – 940 °С, поток E – 950 °С.

Таблица 4

Результаты пирометрии кладки печи F-08B

Отметка	Температура кладки, °С			
	Поток Н	Поток G	Поток F	Поток E
Верхний ярус	1015	1010	1010	1010
Средний ярус	1040	1025	1005	1010
Нижний ярус	1035	1010	1010	1025
Под печи	1015	1000	1000	1010

Сравнивая результаты обследований печи F-08B, работающей с горелками АГГ-2М, с результатами обследований этой же печи после проведенных мероприятий по оснащению печи новой системой, видим, что при одинаковых технологических режимах пиролиза бензина КПД печи увеличился на 2,6 %, расход топлива снизился на 17 %, одновременно выровнено разрежение по высоте топки, температурный перепад на кладке печи уменьшился до 10÷30 °С как по длине топки, так и по высоте.

По результатам проведенных обследований печи можно говорить об эффективности проведенных мероприятий по оснащению печи пиролиза установки ЭП-300 новой системой сжигания топлива с горелками типа АГГ-3М.

Горелки обеспечивают технологический режим пиролиза углеводородной смеси с близкими к проектным значениям показателями, работают устойчиво, с равномерным обогревом кладки печи и сырьевых змеевиков (рис. 1). Конструктивно горелки АГГ-3М обеспечивают большую надежность в эксплуатации, легки в управлении и регулировке режима горения, обладают пониженным уровнем шума.

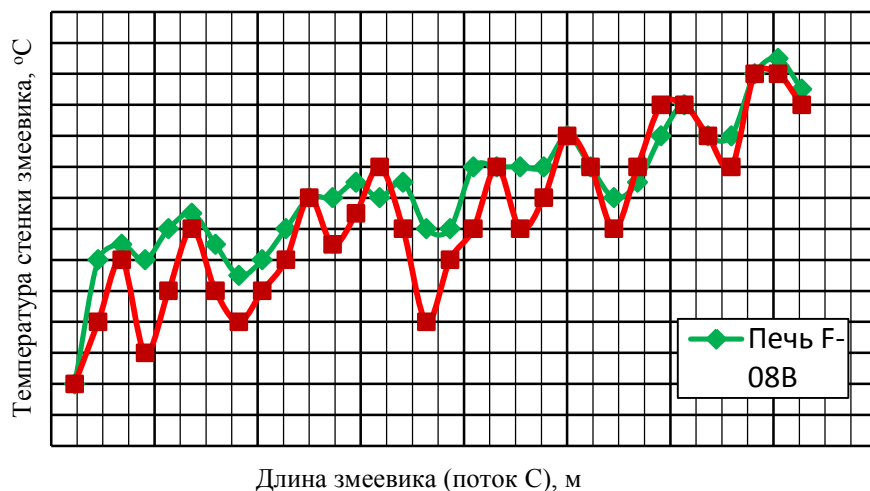


Рис. 1. Температурный профиль змеевиков реконструированной печи F-08B и проектной печи F-03B (сравнение по потоку С)

Работа горелок хорошо сочетается с выполненной кладкой из жаропрочного бетона.

Картина работы горелок АГГ-3М в топке печи представлена на рис. 2.

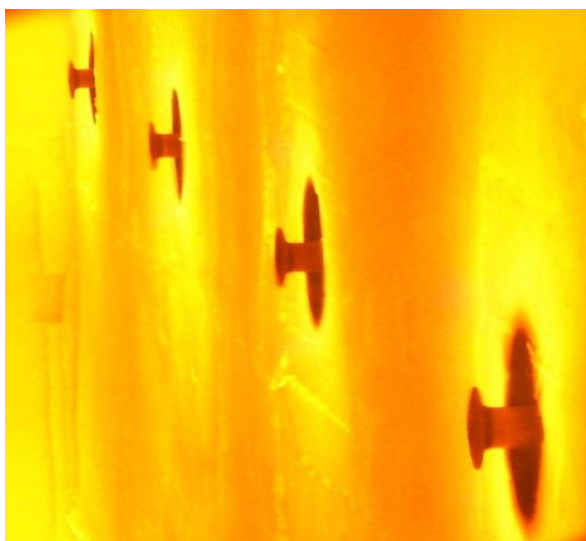


Рис. 2. Фрагмент внутренней части печи (топки) с установленными и работающими горелками типа АГГ-3М

В целом по результатам работы новой ССТ печей установок ЭП-300 с горелками типа АГГ можно сделать следующие выводы:

– уменьшение расхода топлива в печах пиролиза достигается за счет более высокой герметизации топки и снижения инжекции в печь холодного атмосферного воздуха (вследствие применения в топливной системе ограниченного числа высокопроизводительных горелок), а также в результате эффективного способа сжигания газа горелками АГГ-3М, обеспечивающего минимальный избыток воздуха на перевале печи ($3\div 10$ % от стехиометрического). Процесс горения подготовленной смеси происходит на раскаленных стенках топки, которые катализируют реакции окисления и способствуют полному выгоранию всех горючих компонентов топлива. На действующих промышленных печах пиролиза с новой ССТ удельный расход топлива на $4\div 10$ % ниже;

– улучшение работы топливной системы печи стабилизирует рабочие условия, позволяет вести процесс пиролиза в оптимальном режиме, с малым коксообразованием внутри пирозмеевиков и благоприятно отражается на работоспособности элементов конструкции печного агрегата (печных труб, опорных деталей, огнеупорной обмуровки и др.). В результате увеличиваются межремонтные рабочие циклы (пробеги) печи, повышается надежность и долговечность работы печного агрегата. За счет сокращения простоя печи на текущем ремонте, уменьшения объема ремонтных работ при выполнении капитального ремонта и т. п. ее рабочий цикл увеличивается в среднем на 500 часов;

– простота конструкции горелок АГГ и недорогие материалы для их изготовления, высокая производительность и сравнительно небольшое их число в печах позволяют уменьшить расход средств на оснащение топливных систем горелками и далее при работе экономить затраты на ремонт и обслуживание.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шарихин В.В., Мухина Т.Н., Печников А.С. и др. Повышение эффективности топливных систем трубчатых печей // Нефтепереработка и нефтехимия. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2002. – № 4. – С. 15-17.
2. Печников А.С., Степанчук В.В. Системы сжигания топлива в трубчатых печах на основе горелок типа АГГ // Передовые технологии и перспективы развития ОАО Казаньоргсинтез: Сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Казань, 24-25 июля 2008 г. – С. 74-75.
3. Печников А.С., Пучнина А.В. Модернизация системы сжигания топлива для печей установки ЭП-300.
4. Ашировские чтения: Тез. докл. V Междунар. науч.-практ. конф. ученых. Самара, 23-24 октября 2009 г. – С. 386-387.
5. Печников А.С., Шарихин В.В., Григорян Л.Г. Разработка методики расчета рационального размещения газовых горелок типа АГГ на излучающих стенах топок трубчатых печей пиролиза // Переработка углеводородного сырья. Комплексные решения (Левинтерские чтения. Тез. докл. Всероссийской науч. конф. Самара, 24-25 октября 2006 г. – С. 133-134.
6. 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 (26). – С. 204-209.

Статья поступила в редакцию 15 декабря 2016 г.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF NEW FUEL COMBUSTION SYSTEM OF PYROLYSIS FURNACE, BASED ON BURNERS OF TYPE AGG-3M

A.S. Pechnikov, S.A. Pechnikov

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

In order to increase the efficiency, reliability and safety of the tube furnaces of existing pyrolysis units of large unit capacity, a new fuel combustion system based on serially produced AGG-3M burners has been developed. The new scheme for placing burners on the radiating walls of the hearth is proposed. Comparative surveys of the existing system and the proposed new fuel combustion system were carried out which showed the effectiveness of the measures taken for modernization of the furnace.

Keywords: *fuel combustion system, gas burner type AGG-3M, modernization, Inspection thermotechnical.*

Alexandr S. Pechnikov (Ph.D.(Techn.)), Associate Professor.

Sergey A. Pechnikov, Head of the Technological Design Department of Gas Production Facilities of the Scientific and Technical Center «Integrated Development of Regional Hydrocarbon Resources», AO «Gazprom promgaz».



30.10.1953 – 12.03.2017

ПАМЯТИ ВЛАДИМИРА СЕРГЕЕВИЧА МЕЛЕНТЬЕВА

12 марта 2017 года скончался Владимир Сергеевич Мелентьев – доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, академик метрологической академии РФ, заведующий кафедрой «Информационно-измерительная техника» Самарского государственного технического университета, член редколлегии журналов: «Вестник СамГТУ (технические науки)» и «Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль», известный специалист в области информационно-измерительных и управляющих систем, крупный ученый, педагог, организатор.

Владимир Сергеевич родился в Куйбышеве 30 октября 1953 года. Отец, Мелентьев Сергей Константинович, партийный работник. Мать, Мелентьева Станислава Григорьевна, педагог, преподавала историю в школе.

После окончания в 1971 году школы № 11 г. Куйбышева Владимир Сергеевич поступил в Куйбышевский политехнический институт, который окончил в 1977 году, получив квалификацию «инженер-радиомеханик» по специальности «Радиотехнические устройства».

После окончания института Владимир Сергеевич Мелентьев остался работать инженером на кафедре радиотехнических устройств политехнического ин-

ститута, где принимал участие в разработке оригинальных устройств для измерения электрических величин. По результатам этих работ в соавторстве были получены первые четыре авторских свидетельства.

В 1979 году Владимир Сергеевич перешел на кафедру информационно-измерительной техники, с которой связал всю свою дальнейшую профессиональную деятельность, жизнь и судьбу, активно включившись в научную работу, овеянную деятельной и творческой атмосферой, царившей тогда на кафедре. Значимыми работами той поры, определившими научное направление Владимира Сергеевича, были: разработка многофункциональных измерительных преобразователей электрических величин, измерительных приборов и систем, информационно-измерительных систем для измерения характеристик многофазных устройств переменного тока, разработка аналого-дискретного метода преобразования сигналов при измерении электрических величин в энергетике и микропроцессорных измерительных устройств и систем.

Значительным вкладом в отечественное приборостроение в 80-х годах прошлого столетия стали разработанные при участии Владимира Сергеевича методы и средства метрологического обеспечения измерительных преобразователей мощности, внедренные на Витебском заводе электроизмерительных приборов, и информационно-измерительная система для проверки силовых трансформаторов, внедренная на Тольяттинском электротехническом заводе. Для своего времени это были уникальные разработки, не имеющие аналогов в отечественной измерительной технике и приборостроении. На основании этих разработок Владимир Сергеевич Мелентьев подготовил и 18 ноября 1991 года успешно защитил кандидатскую диссертацию «Информационно-измерительная система для электромагнитных испытаний силовых трансформаторов».

В 1988 году Владимир Сергеевич Мелентьев перешел на преподавательскую работу – сначала в должности ассистента, а с 1992 по 2004 год – в должности доцента кафедры информационно-измерительной техники. В период с 1992 по 2005 год исполнял обязанности заместителя декана факультета автоматики и информационных технологий. В 2004–2006 годах Владимир Сергеевич обучался в докторантуре Самарского государственного технического университета. После защиты в 2006 году докторской диссертации на тему «Информационно-измерительные системы контроля и испытаний энергообъектов на основе методов измерения и обработки мгновенных значений электрических сигналов» был избран на должность профессора кафедры информационно-измерительной техники Самарского государственного технического университета.

С 2007 года Владимир Сергеевич Мелентьев – заведующий кафедрой информационно-измерительной техники Самарского государственного технического университета.

Все эти годы Владимир Сергеевич вел активную научно-исследовательскую работу. Именно в этот период на основе сформировавшегося в информационно-измерительной технике аппроксимационного подхода им было развито научное направление, связанное с разработкой и анализом методов и средств определения параметров периодических сигналов и электрических цепей. С 2002 по 2012 год в рамках этого направления при непосредственном и определяющем участии Владимира Сергеевича в издательствах «Физматлит», «Машиностроение» и «СамГТУ» было издано 7 монографий: «Цифровые методы измерения интегральных характеристик периодических сигналов» (2002), «Процессорные средства измерения характеристик периодических сигналов» (2002),

«Методы и средства измерения параметров электрических цепей на постоянном токе» (2004), «Измерение параметров емкостных датчиков положения и перемещения» (2005), «Аппроксимационные методы и системы промышленных измерений, контроля, испытаний, диагностики» (2007), «Аппроксимационные методы и системы измерения и контроля параметров периодических сигналов» (2011), «Аппроксимационные методы и средства измерения и контроля параметров двухполюсных электрических цепей» (2012). Всего в активе Владимира Сергеевича – свыше 400 научных публикаций.

Владимир Сергеевич Мелентьев был замечательным ученым и педагогом, добрым, порядочным, чутким и отзывчивым человеком, прекрасным семьянином и отцом. Его человеческие и деловые качества – преданность делу, трудолюбие, требовательность, принципиальность, любовь к профессии, уважение к людям и человеческим ценностям останутся примером для его друзей, коллег и учеников.

Мы глубоко скорбим по поводу тяжелой утраты и выражаем искренние соболезнования родным и близким Владимира Сергеевича. Хорошая память о Владимире Сергеевиче Мелентьеве навсегда останется в наших сердцах.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Представленная в журнал работа **должна обязательно содержать новые научные результаты**, нигде ранее не публиковавшиеся и не представленные к публикации в других изданиях.

В журнале предполагается публикация статей объемом до 10 страниц (включая рисунки и таблицы), а также кратких сообщений по соответствующим разделам (объем 3-4 стр. вместе с рисунками и таблицами).

В приоритетном порядке будут рассматриваться материалы докторских и кандидатских диссертаций. Аспирантские работы рекомендуется представлять в форме кратких сообщений.

Требования к оформлению статей находятся на сайте университета

<http://vestnik-teh.samgtu.ru>

К статье прилагаются:

- экспертное заключение;
- авторская справка;
- лицензионный договор передачи авторского права на публикацию;
- направление от организации (если авторы не работают в СамГТУ).

Статьи, не удовлетворяющие указанным правилам оформления, будут возвращены авторам без рассмотрения.

Статьи и краткие сообщения передаются ответственному секретарю серии «Технические науки» И.Г. Минаковой (443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. СамГТУ. Корп. 8, комн. 519).

Справки по телефонам:

337 07 00 – Эдгар Яковлевич Рапопорт

337 03 42 – Ирина Григорьевна Минакова

E-mail: vest_teh@samgtu.ru

Редколлегия журнала