СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ КОНФЕРЕНЦИИ

Федеральное агентство по образованию и науке

Московский энергетический институт
(технический университет)

Филиал Московского энергетического института
(технического университета) в г. Волжском

РЕСУРСО-ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ

ВТОРАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

г. Волжский
23 – 26 сентября 2008 г.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ И НАУКЕ

Московский энергетический институт
(технический университет)

Филиал Московского энергетического института
(технического университета) в г. Волжском

РЕСУРСО-ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ

ВТОРАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

г. Волжский
23 – 26 сентября 2008 года

Сборник научных статей

Волжский **Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)»** **2009**

УДК 621.3+621.37[(043.2)]
ББК 65.304.14

Организационный комитет:

Скибицкий Н.В. (председатель), Бибин Е.А., Васильев П.Д., Аракелян Э.К., Шилин А.Н., Муха Ю.П., Камаев В.А., Гончарова Л.К., Грошев А.И., Капля Е.В., Кузеванов В.С. (сопредседатель), Раменский П.П. (сопредседатель), Голованчиков А.Б., Терентьев Г.Ф.

Ресурсо-энергосбережение и эколого-энергетическая безопасность промышленных городов: Материалы Второй Всероссийской научно-практической конференции / Сборник научных статей. – Волжский: Филиал ГОУ ВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2008. – 133 с. Издательство: Филиал ГОУ ВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2009.

ISBN 978-5-94721-048-4

В сборник вошли статьи, отражающие основное содержание докладов, представленных на конференцию. Освещены актуальные проблемы теплоэнергетики, электроэнергетики, электротехники и электромеханики, моделирования объектов энергетики, информационных технологий в энергетике, управляющих систем в энергетике, технических и программных средств автоматизации.
Публикуемые материалы предназначены для научных работников, административных работников энергетической отрасли, энергетиков-практиков, аспирантов, студентов. Сборник может быть полезен и для преподавателей вузов и инженеров, интересующихся указанными выше направлениями науки и техники.
Сохранена авторская редакция.

УДК 621.3+621.37[(043.2)]
ББК 65.304.14

ISBN 978-5-94721-048-4

© Авторы, 2009
© Филиал ГОУ ВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2009

ВВЕДЕНИЕ

В настоящем сборнике опубликованы материалы Второй Всероссийской научно-практической конференции по тематике, традиционной для организуемых на базе филиала «Московского энергетического института (технического университета)» в г. Волжском форумов. Проведение Всероссийской конференции явилось важным событием для г. Волжского.

По-прежнему в центре нашего внимания – комплекс важных проблем теплоэнергетики, электроэнергетики и электротехники, а также вопросы внедрения в производство передовых технологий, систем управления, вопросы экологической и энергетической безопасности.

Важным шагом к реальному взаимодействию науки и производства явилось проведение в рамках конференции круглого стола на тему «Перспективы модернизации генерирующих мощностей предприятий Южного региона».

Продуктивная дискуссия привела при этом к выработке следующего решения.

РЕШЕНИЕ

26 сентября 2008 года.

В период с 23 сентября по 26 сентября 2008 г. в городе Волжском проходила Вторая Всероссийская научно-практическая конференция

«РЕСУРСО-ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ»

В конференции приняло участие более 100 человек.

Из них 25 человек иногородних из городов: Волгоград, Воронеж, Москва, Комсомольск, Иваново и др.

Состоялись дискуссии на всех шести секциях, запланированных ранее.

В результате обсуждения докладов на секциях конференции и на круглом столе принято следующее решение:

1. Рекомендуется всем теплогенерирующим предприятиям Волгоградской области сосредоточить свои ресурсы на внедрении передовых информационных технологий и внедрении новых информационно-измерительных систем.

2. Филиалу «Московского энергетического института (технического университета)» в г. Волжском повысить качество подготовки выпускаемых специалистов для теплогенерирующих и теплопотребляющих предприятий области.

3. Филиалу «Московского энергетического института (технического университета)» в г. Волжском интенсифицировать научные разработки в области создания систем управления теплоэнергетическими предприятиями.

4. Сохранить сложившуюся тенденцию проведения конференции по представленной тематике не реже чем один раз в 2 года.

Председатель оргкомитета Н.В. Скибицкий

Сопредседатель оргкомитета П.П. Раменский

Сопредседатель оргкомитета В.С. Кузеванов

СЕКЦИЯ № 1
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

Руководители секции: ***Муха Юрий Петрович***
д-р техн. наук, профессор
Капля Егор Викторович
канд. физ.-мат. наук, доцент

ВОПРОСЫ СИНТЕЗА ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИЗМЕНЯЕМОЙ СТРУКТУРОЙ

Семишев Л.Н. – канд. техн. наук, доцент
Волгоградского государственного
архитектурно-строительного университета

В настоящее время существуют алгоритмы, позволяющие определять (синтезировать) нелинейные зависимости в динамических моделях, необходимые для устойчивых динамических реакций этих моделей к внешней динамической нагрузке. Система может иметь также связи «мягкого» переключения вышерассмотренных функций.

При заданных ограничениях на амплитуду и спектр частот колебаний, которые навязывает упругая зона работы элементов сооружения, существующая теория синтеза динамических механических систем дает ответ на характер (вид функции) нелинейностей как в связях трения – функции K_1, K_2, K_3, так и в упругих связях – функции F_1, F_2, F_3.

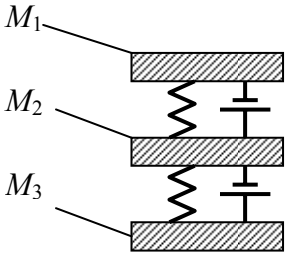


Рис. 1

$$\begin{cases} \ddot{Y}_1 M_1 + K_1\left(\dot{Y}_1 - \dot{Y}_2\right) + F_1\left(Y_1 - Y_2\right) = H_1(t) \\ \ddot{Y}_2 M_2 + K_1\left(\dot{Y}_2 - \dot{Y}_1\right) + K_2\left(\dot{Y}_2 - \dot{Y}_3\right) + F_1\left(Y_2 - Y_1\right) + F_2\left(Y_2 - Y_3\right) = H_2(t) \\ \ddot{Y}_3 M_3 + K_2\left(\dot{Y}_3 - \dot{Y}_2\right) + K_3\dot{Y}_3 + K_2\left(Y_3 - Y_2\right) + F_3 Y_3 = H_3(t) \end{cases}$$

M_1, M_2, M_3 – массы частей сооружения;

Y_1, Y_2, Y_3 – вертикальные перемещения соответствующих масс, относительно какой-то опорной вертикальной оси Y,

K_1, K_2, K_3 – нелинейные функции связи трения от скоростей взаимного перемещения соответствующих масс;

F_1, F_2, F_3 – нелинейные функции упругих связей взаимного перемещения соответствующих масс;

$H_1(t)$, $H_2(t)$, $H_3(t)$ – внешняя динамическая нагрузка, приложенная к соответствующим массам. Это может быть частично внешняя независимо действующая нагрузка, частично – нагрузка виброгасителей.

Определение предельных параметров функционала «гладких» нелинейных функций связей K_1, K_2, K_3 и F_1, F_2, F_3 и предельных параметров управляющих виброгасителей $H_1(t)$, $H_2(t)$, $H_3(t)$, создающих динамическую реакцию модели в пределах заданных динамических ограничений линейных напряжений от динамических воздействий, есть первый этап синтеза упругих систем с переменной структурой [1].

На втором этапе необходимо создать с помощью линейно-упругих и нелинейно-упругих элементов конструкций сооружения нелинейно-упругую характеристику, полученную на первом этапе, или, хотя бы, кусочно-линейную характеристику, а также элементы сухого трения, которые устанавливаются таким образом, чтобы апроксимировалась нелинейная характеристика сухого трения. То есть необходимо заниматься синтезом упрого-деформируемых систем с односторонними связями.

Анализ динамических упругих систем с изменяемой структурой (с односторонними связями) и рациональные методы их расчета

В системах с односторонними связями, которые моделируют сооружения с переменной структурой, односторонние связи в нейтральном состоянии могут стоять с зазорами или с предварительным напряжением, однако при деформации сооружения они включаются и выключаются, меняя жесткостную характеристику сооружения, в связи с чем в этих системах существуют серьезные проблемы в поиске реальных схем опирания среди множества возможных схем опирания.

Создан рациональный алгоритм, позволяющий статико-деформационным способом на каждом шаге определять реально включающуюся или выключающуюся связь и все параметры упругой расчетной схемы.

Отклонение массы или отклонение любого параметра от нейтрального положения

$$y = \delta_{01}x_1 + \delta_{02}x_2 + ... + \delta_{0i}x_i + ... + \delta_{0n}x_n + y_0, \qquad (1)$$

где y_0 – отклонение массы в основной системе – независимая переменная.

При этом должны удовлетворяться условия, отражающие специфику работы односторонних связей:

$$\Delta_i = \delta_{i1}x_1 + \delta_{i2}x_2 + ... + (\delta_{ii} + \delta_i)x_i + ... + \delta_{in}x_n + \delta_{i0}^{'}y_0 \geq \varepsilon_i .$$

Если $\Delta_i > \varepsilon_i$, то $x_i = 0$ (связь не включена).

Если $\Delta_i = \varepsilon_i$, то $x_i \geq 0$ (связь включена).

Эти условия в неотрицательных параметрах (в каноническом виде) имеют вид:

$$-y = -\delta_{01}x_1 - \delta_{02}x_2 - ... - \delta_{0n}x_n - y_0;$$

$$\delta_{i1}x_1 - \delta_{i2}x_2 - ... - (\delta_{ii} + \delta_i)x_i - ... - \delta_{in}x_n - \delta_{i0}^{'}y_0 + f_i = -\varepsilon_i;$$

$$x_i \geq 0; \quad f_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, ..., n); \quad x_i f_i = 0.$$

Если же хотя бы для одной связи выполняется условие $\varepsilon_i > 0$, система напряжена, и параметры ее нейтрального положения подлежат определению (система предварительно напряжена).

К такому же математическому формализму приводится и пластинка перекрытия модуля небоскреба с односторонними связями (вантами), загруженная точечным штампом (одна масса).

Линейно-упругая пластинка имеет цилиндрическую жесткость D и основание с переменной жесткой структурой. Точечный штамп перемещается под действием силы $F(Y)$. Необходимо определить кусочно-линейную характеристику $F(Y)$, которая зависит от последовательности включения и выключения отдельных упругих односторонних связей основания при деформации пластинки фундамента [2].

Задача по определению $F(Y)$ также решается методом модернизированного линейного программирования. С этой целью пластинка описывается уравнением Софи-Жермен (2):

$$D\left(\frac{\partial^4\omega}{\partial x^4}+\frac{\partial^4\omega}{\partial x^2\partial z^2}+\frac{\partial^4\omega}{\partial z^4}\right)-q(x,z)=0\,. \qquad (2)$$

Уравнение представляется в конечных разностях с узлами сетки в виде системы линейных уравнений. При этом принимается свободный край пластинки по всему контуру. С учетом 1-го и 2-го законтурных слоёв для характерных узлов:

на 1-м законтурном слое

$$\omega_0 = \left.\begin{matrix} -\mu\lambda^2/h^2 \\ 2+2\mu\lambda^2/h^2 \\ -\mu\lambda^2/h^2 \end{matrix}\right| -1 \Bigg\} \times \omega;$$

на 2-м законтурном слое

$$\omega_n = \left.\begin{matrix} \mu(2-\mu)\lambda^4/h^4 \\ -4\lambda^2/h^2-4\mu(2-\mu)\lambda^4/h^4 \\ 4+8\lambda^2/h^2+6\mu(2-\mu)\lambda^4/h^4 \\ -4\lambda^2/h^2-4\mu(2-\mu)\lambda^4/h^4 \\ \mu(2-\mu)\lambda^4/h^4 \end{matrix}\right| \left.\begin{matrix} 2(2-\mu)\lambda^2/h^2 \\ -4-4(2-\mu)\lambda^2/h^2 \\ 2(2-\mu)\lambda^2/h^2 \end{matrix}\right| 1 \Bigg\} \times \omega,$$

где μ – коэффициент Пуассона; h и λ – шаг сетки.

Таким образом, получена система n линейных уравнений, описывающая свойства прямоугольной пластинки со свободным краем по контуру. При нулевой нагрузке для i-го узла имеем линейное уравнение:

$$\begin{array}{ccccc} & & a_{12} & & \\ & a_2 & a_7 & a_3 & \\ a_{11} & a_6 & a_1 & a_8 & a_{13}\times\omega = 0\,. \\ & a_5 & a_9 & a_{11} & \\ & & a_{10} & & \end{array} \qquad (3)$$

Коэффициенты $a_1, a_2, ...a_{13}$ получены с учетом условий на контуре (2) и (3). Условие (3) справедливо для случая, когда нагрузка равна нулю, так как в этом случае сохраняется равновесие пластинки без упругого основания.

Рассмотрим дополнительные условия, накладываемые спецификой работ упругого основания.

Перемещение узла плиты ω_i по направлению опоры i основания моделируется следующим образом, см. рисунок 2:

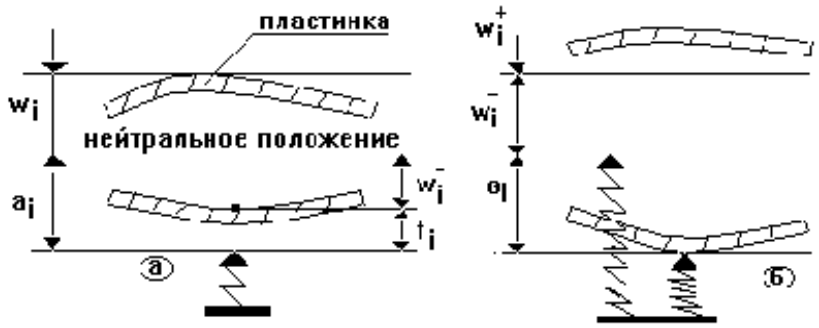


Рис. 2

Перемещение в направлении упругого обжатия пружины i по направлению действия силы будем считать положительным. В дальнейшем представим перемещение ω из двух положительных долей ω_i^+, ω_i^-.

Величина упругого обжатия пружины в соответствии с правилом знаков, принятым выше:

$$\theta_i = -\omega_i + a_i, \qquad \text{если } \omega_i < a_i;$$

$$\theta_i = 0, \qquad \text{если } \omega_i < a_i, \qquad (4)$$

где a_i – зазор между нейтральным положением пластинки и связью в узле i, см. рисунок 2, *б*.

В соответствии с правилами знаков $a_i \le 0$, если связи стоят так, что, будучи единственными, не вызывают предварительного напряжения системы, условия (4) перепишутся:

$$\theta_i = -\omega_i + a_i + f_i;\;\; \theta_i \ge 0;\;\; f_i \ge 0;\;\; \theta_i f_i = 0\,.$$

Здесь f_i – открытый зазор узла i между пластиной и основанием.

С учетом $\omega_i = \omega_i^+$, если $\omega_i^+ > 0$, $\omega_i^- = 0$ и $\omega_i = \omega_i^-$, если $\omega_i^+ = 0$, $\omega_i^- > 0$ условия (4) перепишутся:

$$\theta_i = +\omega_i^+ - \omega_i^- + a_i + f_i;\ \ \theta_i \geq 0;\ \ f_i \geq 0;$$

$$\omega_i^+ \geq 0;\ \ \omega_i^- \geq 0;\ \ \theta_i f_i = 0;\ \ \omega_i^+ \omega_i^- = 0. \qquad (5)$$

С учетом (3) и (5) мы имеем полную математическую модель, описывающую работу пластинки на упругом основании с переменной структурой. Отметим, что связи, стоящие без зазора, работающие как обычно в двух направлениях, моделируются как две односторонние связи с зазорами a_i, равными нулю.

Перемещения узловых точек пластинки, в которых приложен точечный штамп нагрузки, одинаковые, поэтому можно их описать как:

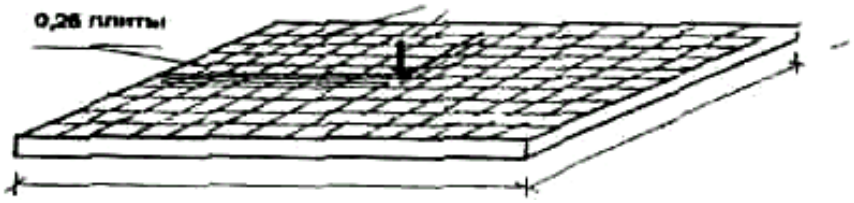
$$\sum_{j=1}^{m} a_4 \begin{matrix} & a_{12} & \\ a_2 & a_7 & a_3 \\ a_6 & a_9 & a_2 \\ a_1 & a_8 & a_4 \\ & a_{10} & \end{matrix} a_{13} \times \omega_j = \sum q_i . \qquad (6)$$

Условие (6) представляет сумму линейных уравнений системы (3), в которых присутствует внешняя нагрузка. Здесь m – количество узлов, в которых приложена нагрузка; j – номер узла, в котором приложена нагрузка; q_i – усилие в одной точке точечного штампа. Уравнение (6) представляет собой целевую функцию по определению точечной нагрузки q, которая растет от нуля до своего расчетного значения, при ограничениях, накладываемых односторонними связями.

Пример

Пластинка на упругом (винклеровском) основании с упругими односторонними связями

конечно-разностная схема

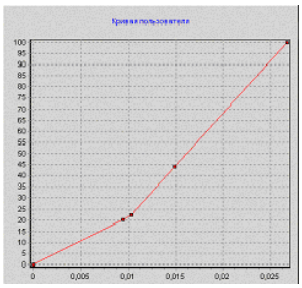


Вкл. Выкл. связи		Перемещения в некоторых узлах (мм) – $F(Y)$						
Связь	Сила, %	Связь А	Связь Б	Где сила	Угол	Длина, 0.5	Центр	Ширина, 0.5
А	20,25	1,30	5,55	9,45	2,10	1,55	9,45	0,24
Б	22,43	1,35	6,00	10,34	2,93	1,66	10,34	10,34
А	44,12	1,30	6,82	14,91	3,90	1,98	14,91	–0,17
Б	100,00	1,03	8,88	26,72	7,98	2,81	26,72	–1,23

Ниже представлены фазовые портреты (графическая связь перемещения и скорости пластинки), амплитудно-временные и амплитудно-частотные характеристики для одномассовой системы с массой стальной плиты M = 54,6 т (см. исходные данные) и упругой характеристикой – $F(Y)$, полученной выше.

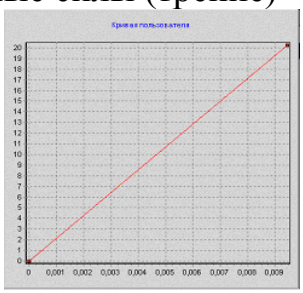
Силы упругости

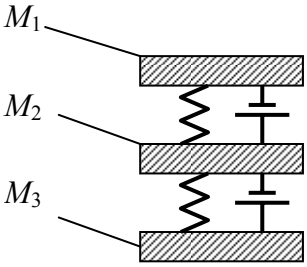
Y	$F(Y)$
0	0
0,00945	20,25
0,01034	22,43
0,01491	44,12
0,02672	100



Диссипативные силы (трение)

Y	$K(Y')$
0	0
2	30

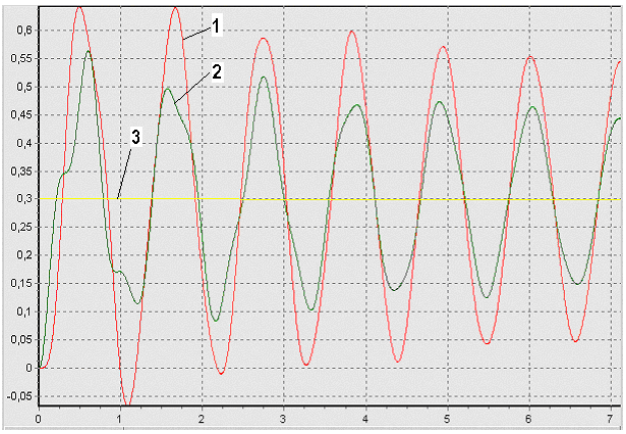


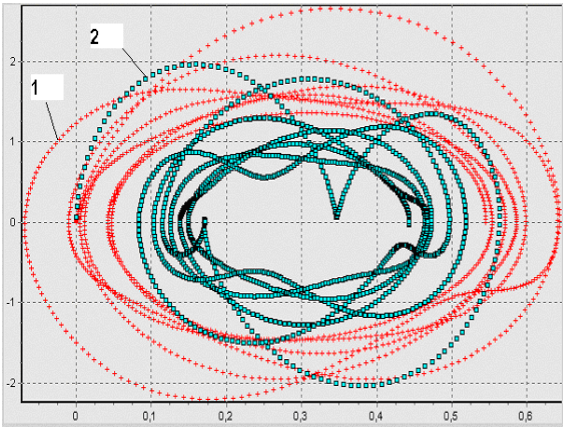


$$\begin{cases} \ddot{Y}_1 M_1 + K_1(\dot{Y}_1 - \dot{Y}_2) + F_1(Y_1 - Y_2) = H_1(t)\sin(Qt) \\ \ddot{Y}_2 M_2 + K_1(\dot{Y}_2 - \dot{Y}_1) + K_2(\dot{Y}_2 - \dot{Y}_3) + F_1(Y_2 - Y_1) + F_2(Y_2 - Y_3) = H_2(t)\sin(Qt) \\ \ddot{Y}_3 M_3 + K_2(\dot{Y}_3 - \dot{Y}_2) + K_3\dot{Y}_3 + K_2(Y_3 - Y_2) + F_3 Y_3 = H_3(t)\sin(Qt) \end{cases}$$

	M	$Y(0)$	H	Q
1	56,4	0	0	0
2	56,4	0	0	0
3	1000000	0,3	0	0

$K_1 = K_2 = K_3 = \{(0, 0); (2, 30)\}$
$F_3 = \{(0, 0); (0.00945, 1)\}$
$F_1 = F_2 =$ плита
$1 - M_1 \quad 2 - M_2 \quad 3 - M_3$





СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Семишев Л.Н., Земсков Ю.В., Климов А.Н., Коробцева Е.В.* Программа, моделирующая воздействие на объект с нелинейными характеристиками. – Волжский, 2006.

2. *Семишев Л.Н.* Динамика пластинчатых упругих систем, лежащих на основании переменной структуры. Прогрессивные виды фундаментов в условиях Сибири и Дальнего Востока. – Владивосток, 1988.

ПРОБЛЕМЫ АНАЛИЗА УПРУГИХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИЗМЕНЯЕМОЙ СТРУКТУРОЙ И ИХ РЕШЕНИЕ

Семишев Л.Н. – канд. техн. наук, доцент
Волгоградского государственного
архитектурно-строительного университета

На сегодняшней день нет стройной теории анализа динамических упругих систем с переменной структурой (с односторонними связями) и рационального метода их расчета. Проблема в том, что в системах с односторонними связями, которые моделируют сооружения с переменной структурой, односторонние связи в нейтральном состоянии могут стоять с зазорами или с предварительным напряжением, однако при деформации сооружения они включаются и выключаются, меняя жесткостную характеристику сооружения, в связи с чем в этих системах существуют серьезные проблемы в поиске реальных схем опирания среди множества возможных схем опирания. Как показал И.М. Рабинович [1], если количество односторонних связей – m, а количество возможных схем опирания – S, то связь между ними следующая: $S = 2^m$.

Простой пример показывает, если $m = 9$, то количество возможных схем опирания $S = 512$, среди которых надо выбрать реальную схему опирания при статическом нагружении. Если говорить о динамическом нагружении этой системы с одной степенью свободы, то необходимо найти реальную последовательность схем реальных опираний среди множества возможных. Минимальное значение возможных схем опирания при движении массы: 512 × 9 = 4 608.

Для двух степеней свободы перебор всех возможных схем равен 4 608 × 4 608 = = 21 233 664, для трех степеней свободы перебор всех возможных схем равен 4 608 × 4 608 × 4 608 = 97 844 723 712. Возможно в динамическом процессе этой расчетной схемы только 3 связи будут включаться и выключаться, а остальные вообще не будут переключаться, тогда итерационными методами необходимо просмотреть 97 844 723 712. Если в этой системе будет известно, какие связи не будут переключаться, то в такой системе можно решать задачи синтеза.

В связи с этим необходимо определять область реальной работы односторонних связей и иметь оптимальный алгоритм анализа таких систем.

В этом случае нет необходимости во времени просматривать остальные связи, необходимо решать задачи внутри области связей, определяющей свойства данной системы. Ниже, в анализе систем, нами предлагается: 1-й этап – разделение систем на статико-деформационную и динамическую части; 2-й этап – упрощение прямого использования алгоритма (1) – это создание рационального алгоритма, позволяющего статико-деформационным способом на каждом шаге определять реально включающуюся или выключающуюся связь и все параметры упругой расчетной схемы; 3-й этап – по полученным статико-деформационным характеристикам (одномерным и многомерным, в зависимости от динамической степени свободы системы) методами теории колебаний проведение динамического расчета.

Это позволило вместо 97 844 723 712 схем опирания просмотреть только $2^3 \times 2^3 = 64$, то есть 64 схемы опирания [3].

Однако этот подход может дать хорошие результаты только в том случае, если для построения (определения всех параметров) статико-деформационных характеристик изменяемой жесткостной структуры сооружения будет найден эффективный алгоритм, позволяющий на каждом шаге изменения структуры сооружения получать все необходимые данные о его статико-деформационной характеристике в данной точке. Для статического нагружения это одномерные характеристики, для динамического – многомерные.

Такой алгоритм был найден в 1974 году [2]. Это определение максимального значения одного из параметров или нескольких линейно связанных параметров статико-деформационных характеристик сооружения в пределах линейно изменяемой схемы сооружения (то есть в пределах включения или выключения одной из односторонних связей). Данный алгоритм позволил определять в упругих трижды нелинейных системах статико-деформационные характеристики для динамических систем с одной или несколькими степенями свободы. (Предварительно в трижды нелинейных упругих системах физическая и геометрическая нелинейности сводятся к конструктивной).

Таким образом, для анализа динамических упругих систем с изменяемой структурой достаточно:

1 этап – упрощение прямого использования алгоритма – это статико-деформационным способом определение тех связей, которые находятся в зоне возможного контакта данной динамической системы;

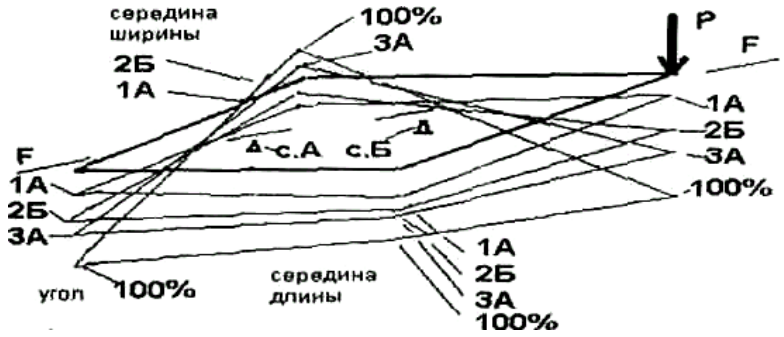
2 этап – упрощение прямого использования алгоритма [2] – это создание рационального алгоритма, позволяющего статико-деформационным способом на каждом шаге определять реально включающуюся или выключающуюся связь и все параметры упругой расчетной схемы;

3 этап – по полученным статико-деформационным характеристикам систем методами теории колебаний проведение динамического расчета.

Как известно, управление динамическими реакциями сооружений (частотой и амплитудой колебаний сооружения), формированием устойчивой зависимости между скоростями и перемещениями (фазовый портрет) в процессе воздействия внешних возмущений возможно при изменяемой упругой структуре сооружения, изменяемой структуре конструкций сооружений, обеспечивающих сухое трение в процессе деформаций сооружения, а также от воздействия внешних управляемых виброгасителей.

Так, например, для определения динамических характеристик пластинки от действия жесткого штампа вначале определяются последовательности включения и выключения упругого основания; в процессе вдавливания точечного штампа в пластинку выполняется пошаговая задача. На каждом шаге решается задача по определению минимума целевой функции при ограничениях, накладываемых свойствами пластинки и спецификой работы упругого основания.

В таблице 1 собраны значения перемещений, в некоторых узлах пластинки (середина ширины, центр, середина длины, угол пластинки).



Исходные данные пластинки:

толщина – 0,2 м; E = 20 000 МПА; длина – 7 м; ширина – 5 м;

упругое основание (15 × 11 узлов); жесткость C = 10,00 МН\ М;

число узлов под нагрузкой на 0,25 пластинки – 1узел, номер узла – 83, сосредоточенная сила P растет от 0 до 1 000,00 КН;

число односторонних связей на 0,25 пластинки – 2: А) номер узла – 33, жесткость C = 999,0 МН/М, зазор – $Д$ = 1,300 мм; Б) номер узла – 66, жесткость C = 999,0 МН/ М, зазор – $Д$ = 6,000 мм/

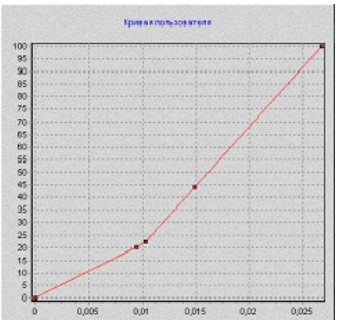
Таблица 1

Вкл. Выкл связи		Перемещения в некоторых узлах (мм)						
Связь	Сила %	Связь А	Связь Б	Где сила	Угол	Длина, 0.5	Центр	Ширина, 0.5
А	20,25	1,30	5,55	9,45	2,10	1,55	9,45	0,24
Б	22,43	1,35	6,00	10,34	2,93	1,66	10,34	10,34
А	44,12	1,30	6,82	14,91	3,90	1,98	14,91	–0,17
Б	100,00	1,03	8,88	26,72	7,98	2,81	26,72	–1,23

Ниже представлены фазовые портреты (графическая связь перемещения и скорости пластинки), амплитудно-временные и амплитудно-частотные характеристики для одномассовой системы с массой стальной плиты M = 54,6 т (см. исходные данные) и упругой характеристикой – $F(Y)$, полученной выше, таблица 1 (столбцы – сила и перемещение под силой, столбец 2-й и 5-й); используется программа [6].

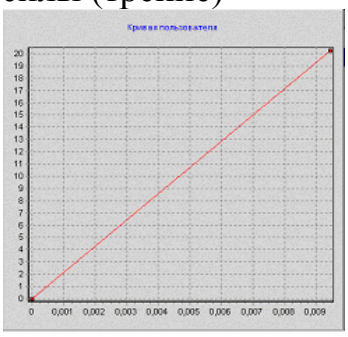
Силы упругости

Y	$F(Y)$
0	0
0,00945	20,25
0,01034	22,43
0,01491	44,12
0,02672	100



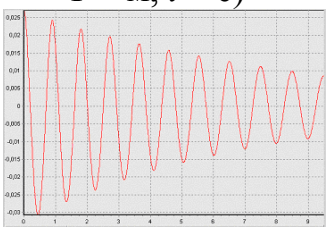
Диссипативные силы (трение)

Y	$K(Y')$
0	0
2	30

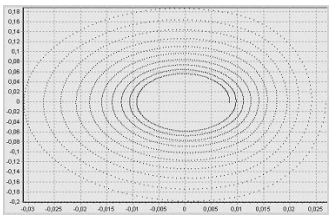


Уравнение $MY'' + KY' + F(Y) + nY = 0$.
$Y(0) = 0{,}027$ м – смещение.
$H = 0$; $Q = 0$.

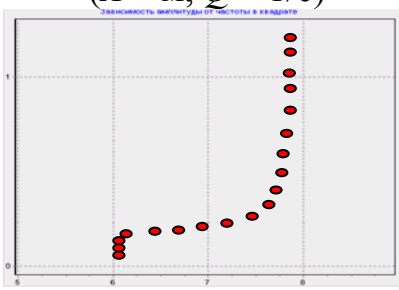
$Y(t)$ (единицы измерения Y – м, t – с)



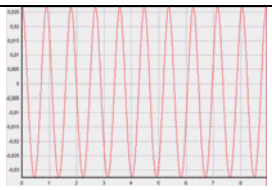
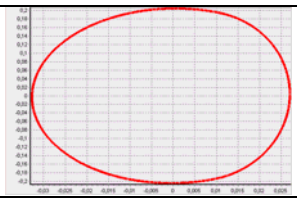
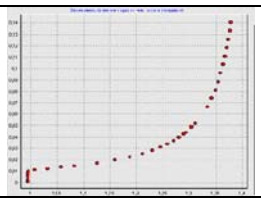
Фазовый портрет $Y'(Y)$ (Y' – м/с, Y – м)



Амплитудно-частотная характеристика $A(Q)$ (A – м, Q – 1/с)



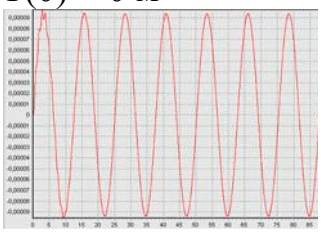
Уравнение $MY'' + F(Y) + nY = 0$ (нет трения).
Y(0) = 0,027 м – смещение.
$H = 0$; $Q = 0$.

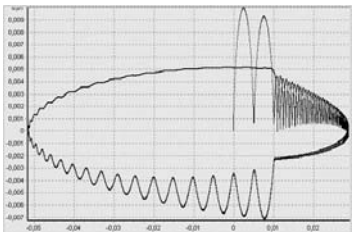
		

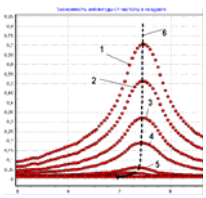
Уравнение $MY'' + KY' + F(Y) + nY = H\sin(Qt)$ (есть сторонние силы, есть трение).

$H = 110$ Н
$Q = 0{,}1$ с$^{-1}$
$Y(0) = 0$ м

1 – $H = 110$ 4 – $H = 30$
2 – $H = 80$ 5 – $H = 10$
3 – $H = 50$ 6 – скелетная кривая

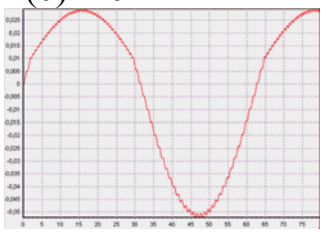


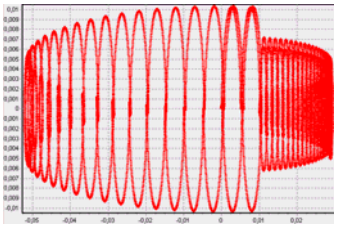




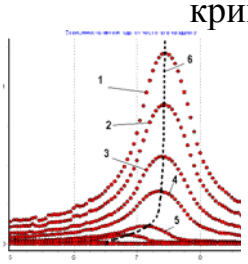
Уравнение $MY'' + F(Y) + nY = H\sin(Qt)$ (есть сторонние силы, нет трения)

$H = 110$ Н
$Q = 0{,}1$ с$^{-1}$
$Y(0) = 0$ м





1 – $H = 110$ 4 – $H = 30$
2 – $H = 80$ 5 – $H = 10$
3 – $H = 50$ 6 – скелетная кривая



Разработанные выше методы анализа динамических упругих систем с односторонними связями позволили перейти к вопросу о синтезе упругих динамических систем с изменяемой структурой [4, 5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рабинович И.М.* Вопросы теории статического расчета сооружений с односторонними связями. – М.: Стройиздат, 1975.

2. *Абрамсон Л.Н.*, *Деревянкин Б.А.*, *Ким Т.С.* Свободные колебания систем с односторонними связями. – Строительная механика и расчет сооружений. – Журнал 2. – Москва, 1974.

3. *Семишев Л.Н.* Строительная механика динамических упругих систем с переменной структурой / Научные чтения профессора М.П. Даниловского. – Журнал ХГТУ. – Хабаровск, 1998.

4. *Семишев Л.Н.* Синтез упругих динамических систем с переменной структурой и управление ими в сейсмостойком строительстве. – Стихия. Строительство. Безопасность: Меж. кон., сб. док. – Владивосток, 1997.

5. *Семишев Л.Н.*, *Земсков Ю.В.*, *Климов А.Н.*, *Коробцева Е.В.* Программа, моделирующая воздействие на объект с нелинейными характеристиками. – Волжский, 2006.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ КОМПОЗИЦИЕЙ ГРАФОВ

Поляков В.С. – ст. преподаватель
Волгоградского государственного технического университета
Поляков С.В. – канд. техн. наук, доцент
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском

Характерная для современных технологических процессов в энергетике (ТПЭ) высокая степень автоматизации, дублирование и мажорирование блоков и устройств, использование микропроцессоров, микроконтроллеров и ЭВМ усложняют построение систем управления энергетическими комплексами. Задача построения систем управления объектами энергетики, осуществляющими

технологический процесс (ТП), осложняется наличием на объекте параллельно функционирующих компонентов. Для решения такой задачи используется комплекс теоретико-множественных методов: теория графов, теория матриц, теория алгоритмов, теория сетей и т.п. Процессы построения формального описания и моделей, как правило, носят эвристический характер, слабо формализуются.

Разбиение сложных систем энергетики с параллельно функционирующими компонентами на многокритериальные агрегатно-функциональные блоки при построении модели требует использования специфичной формальной основы. Использование *n* агрегатно-функциональных блоков при построении модели означает введение *n*-арных отношений, задающих их взаимодействие. Кроме того, использование экстраполирующей модели для систем управления в виде графа позволяет упростить построение формального описания и самой системы управления [1-3].

Выполнение ТП на объекте определяется сменой состояний объекта во времени и определяется множеством

$$Q = \{q_1, q_2, \ldots, q_i, \ldots, q_n\},$$

где $i - 1, 2, \ldots, n$ – число состояний.

Любое состояние объекта q_i в процессе выполнения ТП может быть определено двумя параметрами [4]:

– положением объекта и его составляющих в пространстве и времени;

– командами при выполнении технологических операций (ТО).

Под технологической операцией (ТО) понимается действие, приводящее к изменению положения объекта или его составляющих во времени и пространстве (физическом или информационном).

Первый параметр образует множество $X = \{x_\nu\}$, характеризующее положение объекта в процессе выполнения ТП ($\nu = 1, 2, \ldots, n$ – число положений объекта); второй – множество $Y = \{y_\mu\}$, характеризующее команды при выполнении объектом технологических операций (ТО) ($\mu = 1, 2, \ldots, m$ – число команд).

Следовательно, каждое состояние объекта q_i будет характеризоваться парой, состоящей из элементов двух множеств X и Y, а множество состояний объекта можно записать в виде $P = \{y_\mu; x_\nu\}$.

Начало, течение и окончание каждой команды $y_\mu \in Y$ при выполнении ТО будет характеризоваться тремя положениями объекта:

$$x_\nu^{\text{н}}, x_{\text{н}}^{\text{п}}, x_\nu^{\text{к}} \in X,$$

где $x_\nu^{\text{н}}$ – начальное положение объекта (начинается выполнение команды y_μ);

$x_\nu^{\text{п}}$ – промежуточное положение объекта (выполнение команды y_μ);

$x_\nu^{\text{к}}$ – конечное положение объекта (окончание выполнения команды y_μ), одновременно являющееся начальным положением для следующей команды $y_{\mu 1}$.

Следовательно, каждое состояние объекта может быть охарактеризовано тремя ситуациями: исходной – $y_\mu;\ x_\nu^{\text{н}};$ текущей – $y_\mu; x_\nu^{\text{п}};$ конечной – $y_\mu; x_\nu^{\text{к}}$.

Множество P может быть разбито на три подмножества P^0, P^-, P^+, элементы которых определяют три двухместных предиката [4, 5]. К множеству $P^0 \subset P$ относятся те пары, которые характеризуют выполнение команд ТО и представляют те сочетания переменных, на которых двухместный предикат $J^0\left(y_\mu;\ x_\nu^{\text{п}}\right)$ принимает значение единицы, то есть истинен.

К множеству $P^- \subset P$ относят те пары, которые характеризуют начало выполнения команд ТО и представляют те сочетания переменных, на которых двухместный предикат $J^-\left(y_\mu;\ x_\nu^{\text{н}}\right)$ принимает значение единицы.

К множеству $P^+ \subset P$ относят те пары, которые характеризуют окончание выполнения команд ТО и представляют те сочетания переменных, на которых двухместный предикат $J^+\left(y_\mu;\ x_\nu^{\text{к}}\right)$ принимает значение единицы.

Таким образом, имея два множества $Y = \{Y_\mu\}$ и $X = \{x_\nu\}$, принимаем первое за множество вершин, а второе за множество ребер. Тогда, задав тремя подмножествами P^0, P^-, $P^+ \subset Y \times X$ три двухместных предиката, получим граф объекта, осуществляющего ТП [5]:

$$G\left(Y,\ X,\ J^0,\ J^+,\ J^-\right).$$

Такое задание графа громоздко и неудобно, поэтому чаще всего используют задание графа при помощи трехместного предиката:

$$H\left(y_\mu; x_\nu; y_{\mu 1}\right) \leftrightarrow \left[y_\mu \neq y_{\mu 1}\ \&\ J^+\left(y_{\mu 1}; x_\nu\right) \&\ J^-\left(y_\mu; x_\nu\right)\right] \vee$$
$$\vee \left[y_\mu = y_{\mu 1}\ \&\ J^0\left(y_\mu; x_\nu\right)\right].$$

В этом случае граф, описывающий объект, будет задан при помощи тех же двух множеств X и Y и трехместного предиката H:

$$G\left(Y, X, H\right).$$

Если переход объекта из одного состояния в другое будет происходить при выполнении только одного условия, то есть в графе, описывающем объект, вершины может соединять только одна дуга (соблюдается принцип детерминированности), то граф, описывающий рассматриваемый объект, будет графом Бержа [6].

Для задания графа часто используют матрицы [4, 5, 6], представляющие собой самую удобную форму задания графа. Широкое распространение получили прямоугольная матрица инциденций, однозначно определяющая граф, и квадратная матрица смежности вершин, задающая граф с точностью до индивидуализации ребер. Существуют и другие матрицы, с помощью которых можно задать граф: матрица циклов, матрица разрезов, матрица смежности ребер и др.

Так как матрица смежности вершин характеризует граф с точностью до индивидуализации ребер, то в этом случае при проведении операций над графами результат получается с точностью до изоморфизма. Поэтому, несмотря на кажущуюся простоту действий, получаемый результат не всегда удовлетворяет требованиям решаемой задачи, особенно это касается систем управления и диагностики.

Для исключения изоморфизма при операциях над графами предложено использовать квадратную матрицу инцидентора [1-3], которая является квадратной и сочетает положительные свойства матрицы смежности вершин и матрицы инциденций, но обладает некоторой избыточностью. Чтобы задать граф однозначно с помощью квадратной матрицы, несколько видоизменим значение ее элементов и будем задавать их с помощью новой, введенной нами матрицы инцидентора.

Матрицей инцидентора графа $G = (A, X, H)$ называется квадратная матрица, элементы которой задаются следующим образом:

– диагональ составляют тройки $a_i\ x_j\ a_i$, для которых справедливо высказывание $\exists x_j H(a_i, x_j, a_i)$, то есть каждая из троек, составляющих диагональ матрицы, характеризует i-ю вершину (a_i) и петлю при ней (x_j);

– недиагональные элементы i-й строки составляют тройки $a_i\ x_{ij}\ a_j$, для которых $\exists a_i, a_j\ [a_i \neq a_j\ \&\ H(a_i, x_{ij}, a_j)\ \&\ \neg H(a_j, x_{ij}, a_i)]$, то есть каждая тройка на пересечении i-й строки и j-го столбца характеризует дугу, исходящую из i-й вершины и входящую в j-ю вершину.

Значения элементов матрицы примут следующий вид:

$$p_{\phi\zeta} = \begin{cases} 0 & \text{– если вершины } y_\phi \text{ и } y_\zeta \text{ неинцидентны,} \\ (y_\phi; x_\nu; y_\zeta) & \text{– если вершины } y_\phi \text{ и } y_\zeta \text{ соединены дугой } x_\nu \\ & \text{направленной от } y_\phi \text{ к } y_\zeta, \\ (y_\phi; x_\nu; y_\phi) & \text{– если имеется петля } x_\nu \text{ при вершине } y_\phi. \end{cases}$$

То есть $P_{\phi\zeta}$ представляет собой упорядоченную тройку, составленную из тех переменных, на которых трехместный предикат H графа $G\ (Y, X, H)$ истинен:

$$P = \left\| p_{\varphi\zeta} \right\| = \left\| \begin{matrix} p_{11} & p_{12} \cdots p_{1\zeta} \cdots p_{1\phi} \\ p_{21} & p_{22} \cdots p_{21\zeta} \cdots p_{2\phi} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ p_{\varphi 1} & p_{\varphi 2} \cdots p_{\varphi\zeta} \cdots p_{\varphi\phi} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ p_{\phi 1} & p_{\phi 2} \cdots p_{\phi\zeta} \cdots p_{\phi\phi} \end{matrix} \right\|.$$

Любую сложную систему с параллельно функционирующими элементами можно в процессе анализа разделить на ряд взаимодействующих между собой многокритериальных агрегатно-функциональных блоков, образующих множество

$$K = \{k_\rho\},$$

где $\rho = 1, 2,..., r$.

Компоненты могут выделяться из объекта как по физическим признакам, так и по информационным. Основной чертой каждого выделяемого компонента является его функциональная целостность, то есть он выполняет одну или несколько связанных операций. В то же время компоненты должны быть достаточно простыми, описание их должно легко строиться в виде простого графа.

Кроме того, в результате анализа объекта можно выделить технологию взаимодействия компонентов между собой, задающую r-арное отношение, представляемых в виде ряда таблиц совместимости.

Для описания реальных объектов недостаточно использования простейших операций над графами, необходимы другие операции, которые должны отражать возможность взаимодействия компонентов, задаваемых в виде графов Бержа. Рассмотрим одну из таких операций и назовём её *операцией композиции* [7].

Поскольку структура сложных систем с параллельно функционирующими компонентами представляется совокупностью взаимодействующих физических или информационных компонентов, задаваемых в виде графов Бержа и матриц инцидентора, формальное описание всей системы может быть получено путём проведения такой операции, основой которой будет операция декартова произведения.

Граф $G = (Y, X, H)$, определяющий рассматриваемый объект, можно получить, проведя операцию композиции (Ξ) над графами G^ρ, описывающими компоненты объекта:

$$G = \underset{\rho=1}{\overset{r}{\Xi}} G^\rho .$$

В основе операции (Ξ) будет лежать декартово произведение графов, то есть граф G будет частью графа G', получаемого в результате декартова произведения графов G^ρ:

$$G \subset G' = \prod_{\rho=1}^{r} G^\rho .$$

Поскольку формальное описание сложных систем с параллельно функционирующими компонентами получается в результате взаимодействия r физических или информационных компонентов, то можно говорить о том, что операция композиции (Ξ) представляет собой r-мерное отношение, заданное на множестве графов $\{G^\rho\}$.

Множества вершин Y и ребер X графа G будут определяться некоторыми r-мерными отношениями на множествах X_0 и Y_0 соответственно. Основу этого

r-мерного отношения будет составлять операция совместимости ω, представляющая собой бинарное отношение между множествами Y и X, которое даёт множество реально существующих ситуаций на объекте, описываемом графом G.

Вводимое отношение совместимости ω будет симметрично, то есть $\omega = \omega^{-1}$, так как для любого объекта, осуществляющего технологический процесс, обязательно следующее условие: если выполняется отношение $x_\nu \omega x_\mu$ то действительно отношение $x_\mu \omega x_\nu$. В таком случае можно говорить о совместимости пары признаков, и безразлично какой из них первый, а какой второй. Следовательно, симметричность отношения указывает на то, что r-строка не обязательно должна быть упорядоченной, и неважно в каком порядке будут взяты графы в декартовом произведении [3, 4].

Любое r-мерное отношение может быть задано r-мерной таблицей. Оперировать такой таблицей сложно, поэтому сделаем следующее допущение: если в r-строке имеется хотя бы одна пара, которая на объекте, осуществляющем технологический процесс, недопустима или несовместима, то это будет означать, что не может быть в реальном процессе команды, соответствующей вершине Y_φ, и положения объекта, соответствующего переходу или петле X_ν.

Такое допущение позволит вместо r-мерной таблицы использовать обычную двухмерную таблицу, задаваемую отношением совместимости ω. Следовательно, формальное описание объекта может быть представлено композицией графов, каждый из которых соответствует функционированию одного из компонентов, причем композиция может быть задана обычной двухмерной таблицей совместимости [2, 3].

Таким образом, структуру сложных систем с параллельно функционирующими компонентами можно представить в виде композиции графов, описывающих работу компонентов, а операцию композиции можно задавать в виде таблиц совместимости. Любое состояние функционирования сложной системы с r параллельными компонентами представляется r-строкой состояний каждого из компонентов, а процесс работы – последовательностью смены этих состояний.

Таким образом, в результате проводимого анализа функционирования системы управления получаем:

– система состоит из r компонентов, каждый из которых описывается графом;

– технологию взаимодействия компонентов между собой, представляемую в виде таблиц совместимости, задающих бинарное отношение и определяющих операцию композиции компонентов.

Таким образом, полученные в результате проведённого анализа сложной системы – ГПС множество графов компонентов $K = \{k_\rho\}$, а также r-арное отношение, задающее операцию композиции графов, представляют возможность получения формального описания системы в виде композиции графов G^ρ, что позволяет более полно использовать возможности экстраполирующей модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Поляков С.В.*, *Сластинин С.Б.* Использование экстраполирующей модели при построении систем функциональной диагностики // Контроль. Диагностика. – 2000. – № 4. – С. 19-22.

2. *Поляков С.В.*, *Сластинин С.Б.* Построение модели для диагностирования технологических процессов с использованием графов // Контроль. Диагностика. – 2001. – № 4. – С. 10-16.

3. *Поляков С.В.*, *Поляков В.С.* Использование экстраполирующей модели для управления, контроля и диагностики технологических процессов // Изв. ВолгГТУ: Сер. Автоматизация технологических процессов в машиностроении: Межвуз. сб. науч. статей. Вып. 1 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2004. – № 1.– С. 53-55.

4. *Харари Ф.* Теория графов / Под ред. Г.П. Гаврилова. Изд. 2-е. – М: Едиториал УРСС, 2003. – 296 с.

5. *Зыков А.А.* Теория конечных графов. – Новосибирск: Наука, 1969. – 541 с.

6. *Берж К.* Теория графов и ее применение. – М.: Изд-во иностр. лит., 1962. –319 с.

7. *Поляков В.С.*, *Сердобинцев Ю.П.* Основные операции над графами, проводимые при помощи матрицы инцидентора // Изв. ВолгГТУ: Сер. Автоматизация технологических процессов в машиностроении: Межвуз. сб. науч. статей. Вып. 3 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. – № 5.– С. 5-9.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОТО-ЭДС СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

Капля Е.В. – канд. физ.-мат. наук, доцент
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском

На основе соотношений между энергетическими величинами в результате теоретических преобразований получена оригинальная формула, позволяющая определить фото-ЭДС солнечной батареи:

$$Э(\alpha,\beta,\tau) = \left[R(\tau)+r(\tau)\right]\cdot\sqrt{\frac{1}{R(\tau)}\cdot\int_0^b\int_0^a\int_0^\infty \eta_\lambda(\varsigma,\xi,\lambda,\tau)\cdot E_\lambda(\alpha,\beta,\varsigma,\xi,\lambda,\tau)\ d\lambda\, d\varsigma\, d\xi}\ ,$$

где $Э(\tau)$ – ЭДС, создаваемая солнечной батареей; $R(\tau)$ – активное сопротивление нагрузки, подключенной к солнечной батарее; $r(\tau)$ – внутреннее сопротивление солнечной батареи; $\eta_\lambda(\varsigma,\xi,\lambda,\tau)$ – безразмерный спектральный коэффициент поглощения поверхностной плотности мощности монохроматического излучения с длиной волны λ в окрестности точки с координатами $(\varsigma;\xi)$ на светочувствительной поверхности; $(\varsigma;\xi)$– координаты точек на светочувствительной поверхности; $E_\lambda(\alpha,\beta,\varsigma,\xi,\lambda,\tau)$– спектральная плотность энергетической освещённости в окрестности $d\sigma$ точки $(\varsigma;\xi)$ светочувствительной поверхности S в момент времени τ.

Изменения фото-ЭДС можно условно разделить на кратковременные, среднесрочные, долговременные и необратимые.

Кратковременные изменения фото-ЭДС происходят по причине затенения светочувствительной поверхности быстро движущимися мелкими облаками, качающимися ветвями растущих рядом деревьев, севшими на солнечную батарею птицами и т.п.

Среднесрочными будем считать плавные изменения фото-ЭДС, происходящие в течение от 10 минут до 24 часов. Среднесрочные изменения фото-ЭДС наблюдаются в результате суточных перемещений Солнца по небосводу, медленного движения крупных облаков, суточных изменений температуры окружающей среды.

Долгосрочные изменения имеют продолжительность свыше 24 часов. Долгосрочные изменения фото-ЭДС могут быть вызваны изменением температуры полупроводниковых элементов в результате сезонных изменений температуры окружающей среды, диффузионным разрушением полупроводников.

Необратимыми для автоматической системы изменениями будем считать изменения фото-ЭДС, вызванные неустранимыми в автоматическом режиме без участия человека причинами. К необратимым изменениям следует отнести последствия повреждений защитного стекла или светочувствительного слоя, последствия отрыва светочувствительных панелей от опор и т.п. Указанные причины необратимого уменьшения фото-ЭДС должны устраняться человеком в ходе ремонта установки.

Попадание снега и воды на защитные стекла светочувствительных панелей вызывает изменения фото-ЭДС, которые нельзя однозначно отнести к одному из перечисленных видов. Продолжительность этих процессов зависит от географических и климатических условий. Интенсивность выпадения осадков в виде дождя и снега варьируется в широких пределах. Осадки в виде града способны повредить защитные стекла и фото-приемные устройства светочувствительных панелей, что приведет к необратимому уменьшению фото-ЭДС.

Засорение защитных стекол светочувствительных панелей пылью и листьями деревьев также нельзя однозначно классифицировать по времени. Многое зависит от расположения солнечных батарей на местности. Близость деревьев увеличивает вероятность засорения листьями, близость автодорог и открытых степных районов увеличивает вероятность засорения пылью. Пыльная буря способна в короткое время засорить песком и пылью защитные стекла и нанести механические повреждения установке, вызвав необратимые изменения фото-ЭДС.

Поворот солнечной батареи способствует самоочистке защитных стекол от пыли, снега, воды и листьев. В результате очистки повышается средняя по поверхности освещенность светочувствительных панелей и увеличивается фото-ЭДС.

Классифицировать изменения фото-ЭДС можно по результатам анализа измерений фото-ЭДС, выполняемых многократно в течение суток. Автоматическая

система ориентации солнечных батарей должна реагировать на среднесрочные изменения фото-ЭДС, периодически отыскивая положения максимума фото-ЭДС.

Период включения режима поиска максимума должен быть не менее трех часов, тогда функционирование системы ориентации будет энергетически обоснованным.

Для экспериментальной проверки результатов расчета собрана экспериментальная установка. Эскиз проекта, осуществляемого в ВФ МЭИ, показан на рис. 1.

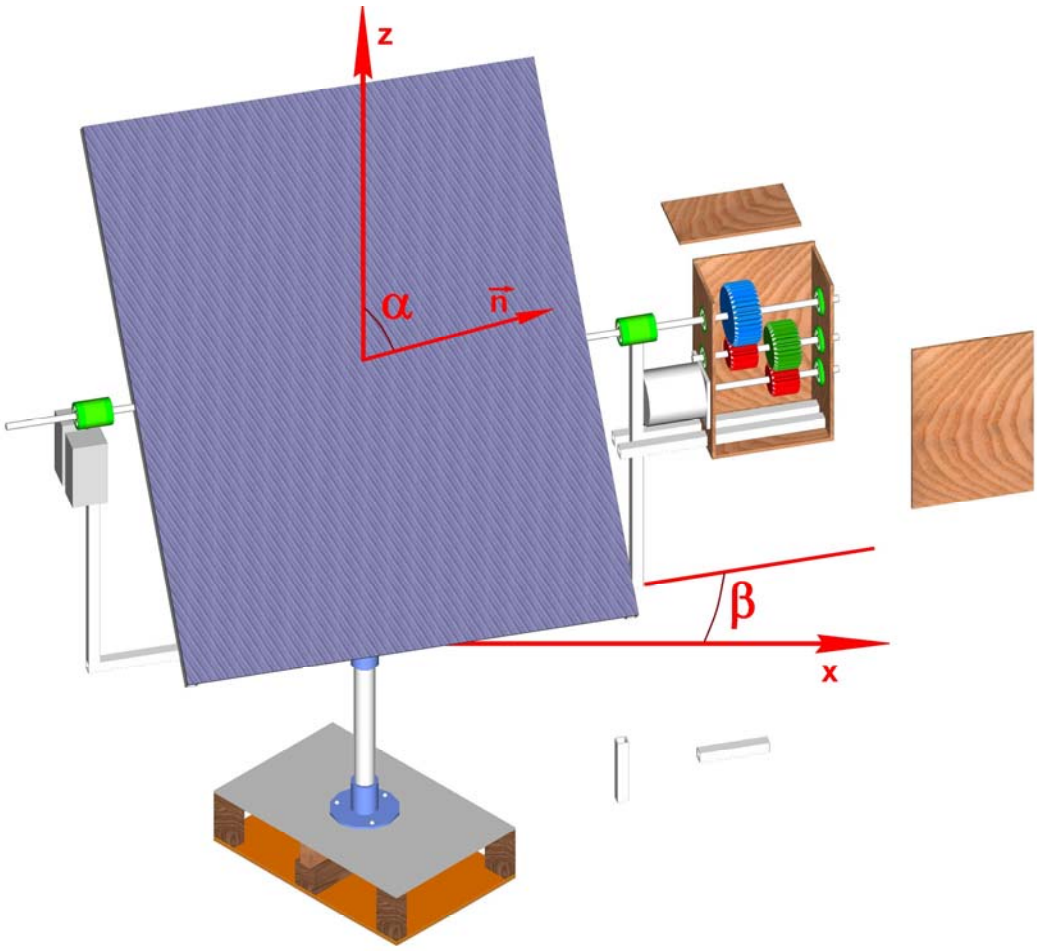


Рис. 1. Самоориентирующаяся солнечная батарея с ψ-образной рамой

Траектории случайного и градиентного поиска максимума освещённости E представлены на рис. 2 и 3.

Увеличение средней освещённости светочувствительной панели в процессе поиска максимума освещённости показано на гистограммах, рис. 4, 5.

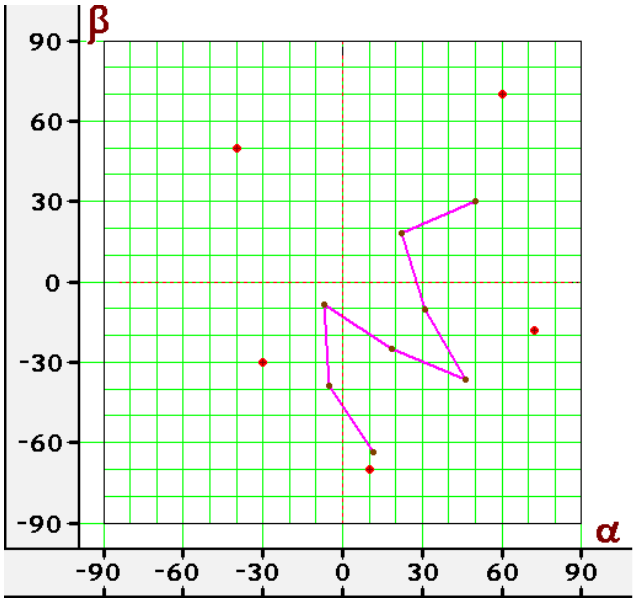


Рис. 2. Траектория случайного поиска
$\alpha_0 = 50,\ \ \beta_0 = 30,\ \ \gamma = 30,\ \ s = 0, 1, ..., 17$

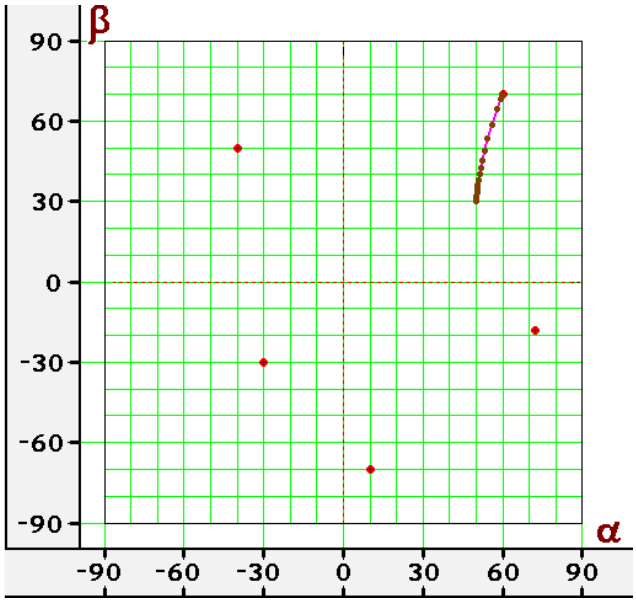


Рис. 3. Траектории градиентного поиска
$\alpha_0 = 50,\ \ \beta_0 = 30,\ \ \gamma = 1,\ \ s = 0, 1, ..., 15$

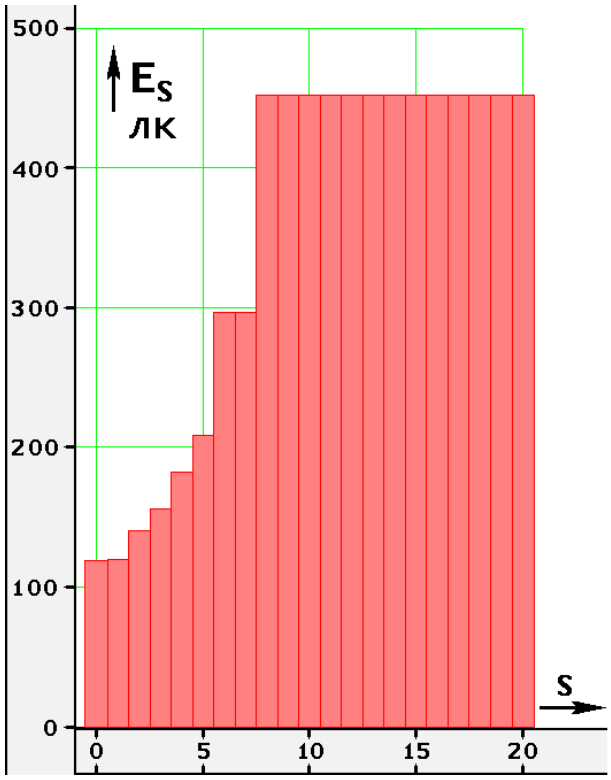


Рис. 4. Изменение освещённости при поиске методом парных проб

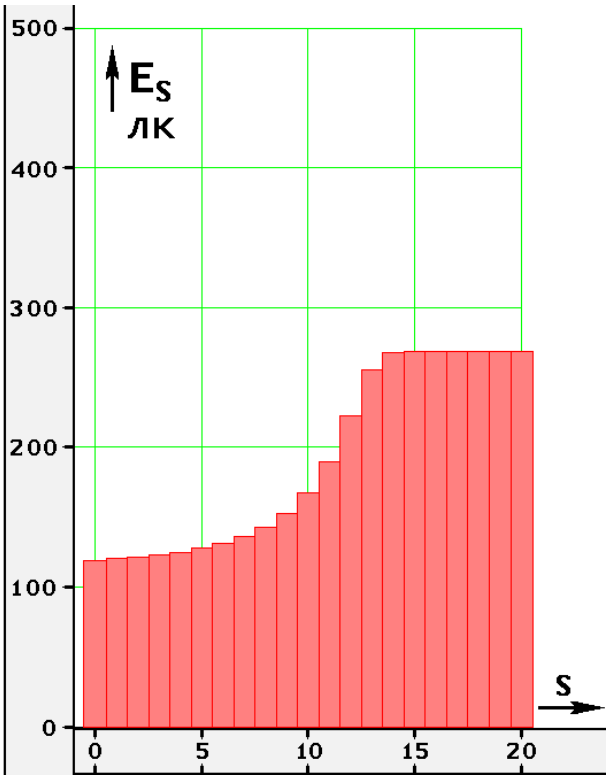


Рис. 5. Изменение освещённости при поиске градиентным методом

На каждом шаге поиска максимума средняя освещённость солнечной батареи монотонно возрастает. Метод парных проб привёл к максимуму с освещённостью $E_{м1} \approx 450$ лк. Градиентный поиск из того же начального положения

привёл к другому максимуму с освещённостью $E_{м2} \approx 270$ лк. Переходный процесс поиска максимума освещённости методом парных проб требует 7-8 шагов, а градиентный поиск – более 10 шагов. Поиск максимума градиентным методом из заданного положения $(б_0, в_0)$ приводит к одному и тому же максимуму. Многократное повторение процесса случайного поиска из заданного начального положения приводит к различным максимумам освещённости. Существует возможность достижения главного максимума поля освещённости $E(б, в)$.

Динамика солнечной батареи в процессе поиска максимума освещённости представлена на гистограммах, рис. 6, 7.

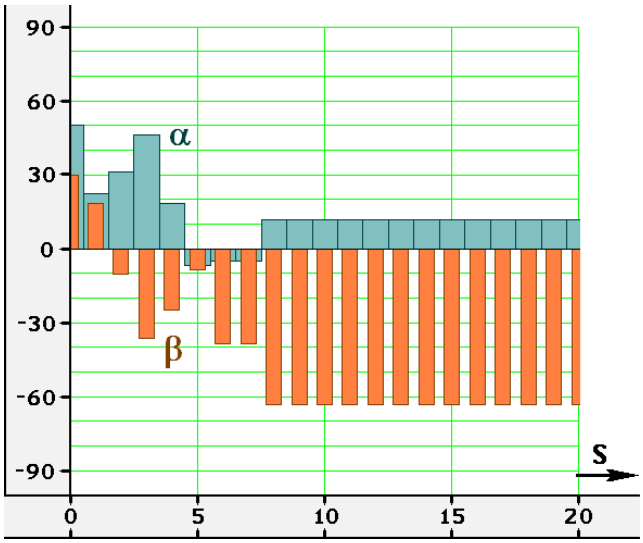


Рис. 6. Ориентация солнечной батареи на каждом шаге поиска методом парных проб

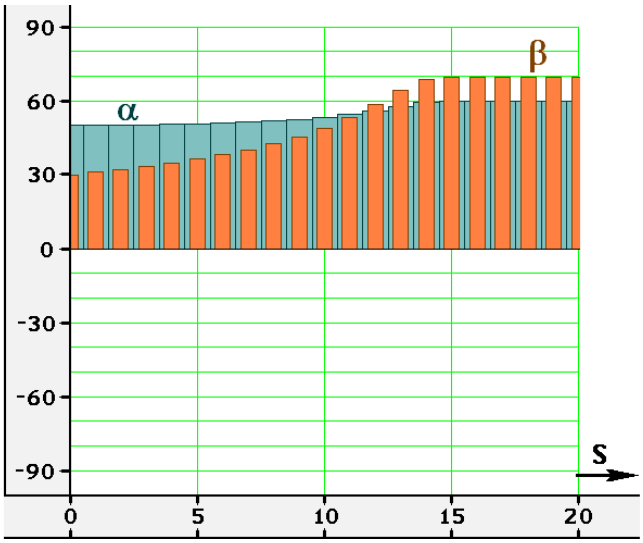


Рис. 7. Ориентация солнечной батареи на каждом шаге поиска градиентным методом

МОДЕЛЬ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

Капля Е.В. – канд. физ.-мат. наук, доцент
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском

Эффективность солнечной батареи можно повысить, оснастив её механизмами поворота и автоматизировав процесс поиска максимума освещенности и фото-ЭДС. Вращение светочувствительной панели вокруг горизонтальной оси, расположенной вдоль меридиана, позволяет следить за Солнцем на небосводе с востока на запад. Суточные и сезонные перемещения Солнца на небосводе можно учесть, поворачивая светочувствительную панель вокруг двух взаимно-перпендикулярных осей. Две вращательные степени свободы светочувствительной панели позволяют ей следить за Солнцем в любое время года и суток.

Пусть величины углов α и β определяются относительно вертикальной оси Oz. При $\alpha = 0$ и $\beta = 0$ вектор $\vec{n}$ совпадает по направлению с осью Oz. Имеет смысл анализировать зависимость $E(\alpha,\beta)$ в квадрате $\alpha \in [-90°; 90°]$, $\beta \in [-90°;\ 90°]$. Положение солнечной батареи в каждый момент времени t характеризуется парой углов $\{\alpha(t), \beta(t)\}$. Углы α и β являются управляемыми параметрами.

Применение покоординатного поиска наиболее эффективно для «четырехлистника», представленного на рис. 1.

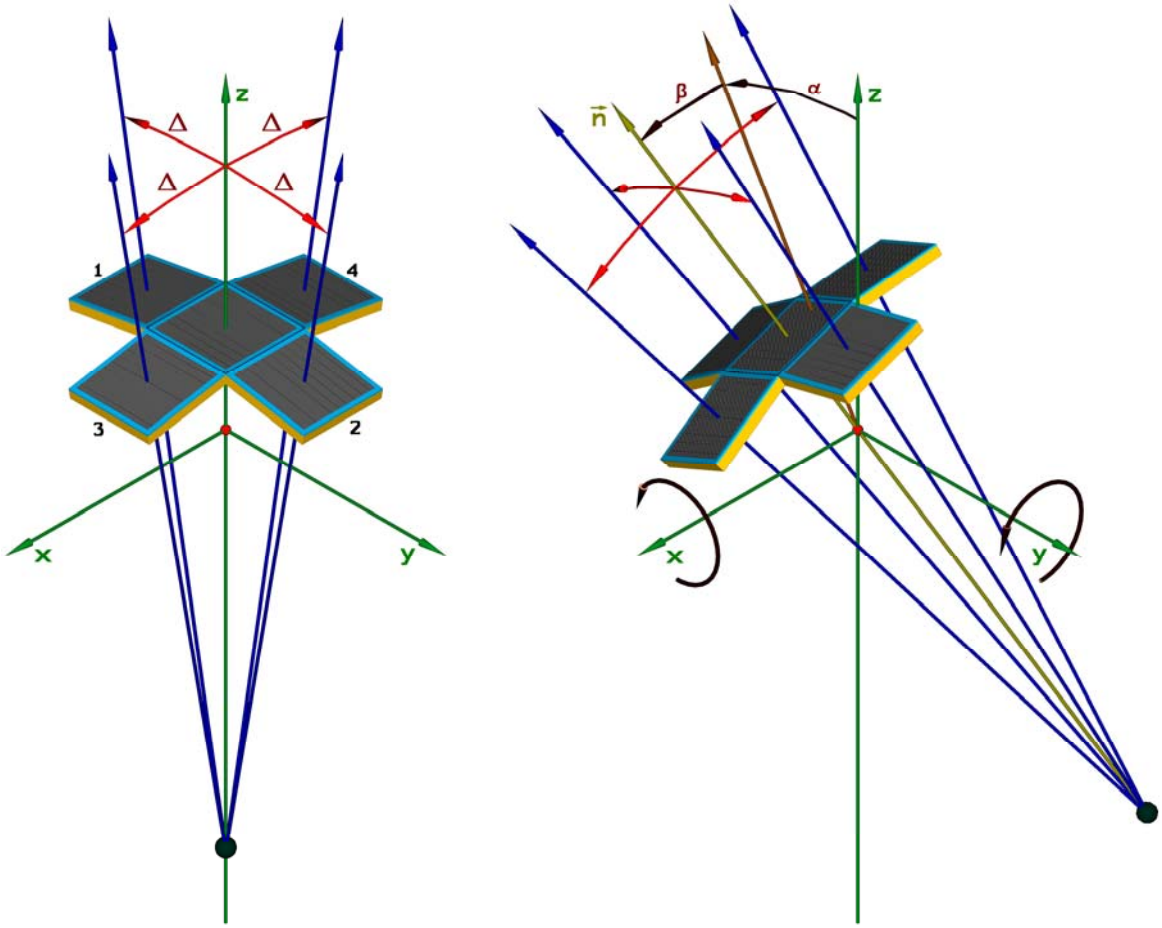


Рис. 1. Панели четырехлистника

Пронумеруем величины фото-ЭДС, полученные от боковых панелей, в соответствии с рисунком:

$$\begin{cases} Э_1(\alpha_s, \beta_s, \Delta) = Э(\alpha_s + \Delta,\ \beta_s), \\ Э_2(\alpha_s, \beta_s, \Delta) = Э(\alpha_s - \Delta,\ \beta_s), \\ Э_3(\alpha_s, \beta_s, \Delta) = Э(\alpha_s,\ \beta_s + \Delta), \\ Э_4(\alpha_s, \beta_s, \Delta) = Э(\alpha_s,\ \beta_s - \Delta). \end{cases}$$

Алгоритм покоординатного поиска представляется математически рекуррентной формулой:

$$\begin{bmatrix} \alpha_{s+1} \\ \beta_{s+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_s \\ \beta_s \end{bmatrix} + \delta \cdot \begin{bmatrix} a_s \\ b_s \end{bmatrix}, \qquad (1)$$

где

$$a_s = \begin{cases} 1, & \text{если } Э_1(\alpha_s, \beta_s, \Delta) > Э(\alpha_s, \beta_s), \\ -1, & \text{если } Э_2(\alpha_s, \beta_s, \Delta) > Э(\alpha_s, \beta_s), \\ 0, & \text{в остальных случаях}, \end{cases}$$

$$b_s = \begin{cases} 1, & \text{если } Э_3(\alpha_s, \beta_s, \Delta) > Э(\alpha_s, \beta_s), \\ -1, & \text{если } Э_4(\alpha_s, \beta_s, \Delta) > Э(\alpha_s, \beta_s), \\ 0, & \text{в остальных случаях}. \end{cases}$$

Эффективность покоординатного поиска максимальна в том случае, когда шаг покоординатного поиска равен углу между нормалями к светочувствительным панелям четырехлистника: $\delta = \Delta$.

Применение метода градиентного поиска предполагает вычисление градиента и перемещение в направлении градиента. Градиент фото-ЭДС в положении (α_s, β_s) равен

$$\text{grad}\ \left(Э(\alpha_s, \beta_s)\right) = \vec{e}_\alpha \cdot \frac{\partial}{\partial \alpha} Э(\alpha, \beta)\Big|_{\alpha_s, \beta_s} + \vec{e}_\beta \cdot \frac{\partial}{\partial \beta} Э(\alpha, \beta)\Big|_{\alpha_s, \beta_s}. \qquad (2)$$

Углы на $(s+1)$-м шаге связаны с углами на s-м шаге рекуррентными выражениями:

$$\alpha_{s+1} = \alpha_s + \mu \cdot \frac{\partial}{\partial \alpha} Э(\alpha_s, \beta_s), \qquad \beta_{s+1} = \beta_s + \mu \cdot \frac{\partial}{\partial \beta} Э(\alpha_s, \beta_s), \qquad (3)$$

где μ – малый параметр – шаг градиентного поиска.

Производные по углам можно найти, повернув светочувствительную поверхность на малые углы $+\Delta\alpha, -\Delta\alpha, +\Delta\beta, -\Delta\beta$:

$$\alpha_{s+1} = \alpha_s + \mu \cdot \frac{Э(\alpha_s + \Delta\alpha, \beta_s) - Э(\alpha_s - \Delta\alpha, \beta_s)}{2 \cdot \Delta\alpha}, \qquad (4)$$

$$\beta_{s+1} = \beta_s + \mu \cdot \frac{Э(\alpha_s, \beta_s + \Delta\beta) - Э(\alpha_s, \beta_s - \Delta\beta)}{2 \cdot \Delta\beta}, \qquad (5)$$

Разработанная система ориентации содержит два униполярных шаговых двигателя ДШР-57-0,06-1,8-1М4081ДООУХЛ4. Двигатели указанной модели обладают номинальным вращающим моментом 0,06 Н·м и номинальным шагом поворота 1,8°.

Вертикальный вал установки поворачивается двигателем посредством редуктора с передаточным числом 177 : 25, что позволяет добиться углового позиционирования солнечной батареи с точностью 0,254°. Вертикальный вал опирается на иглу и два подшипника.

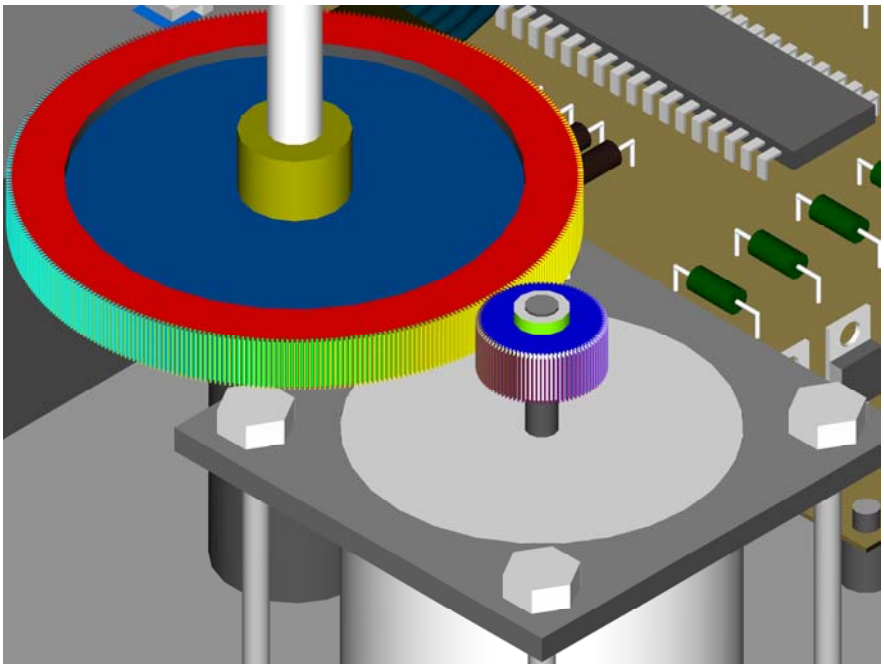


Рис. 2. Механизм поворота вокруг вертикальной оси

Общий вид механизма поворота вокруг вертикальной оси, автоматической электронной системы управления, аккумуляторной батареи и шагового двигателя показан на рис. 3. Верхняя крышка и один из бортов корпуса сняты для удобства обзора.

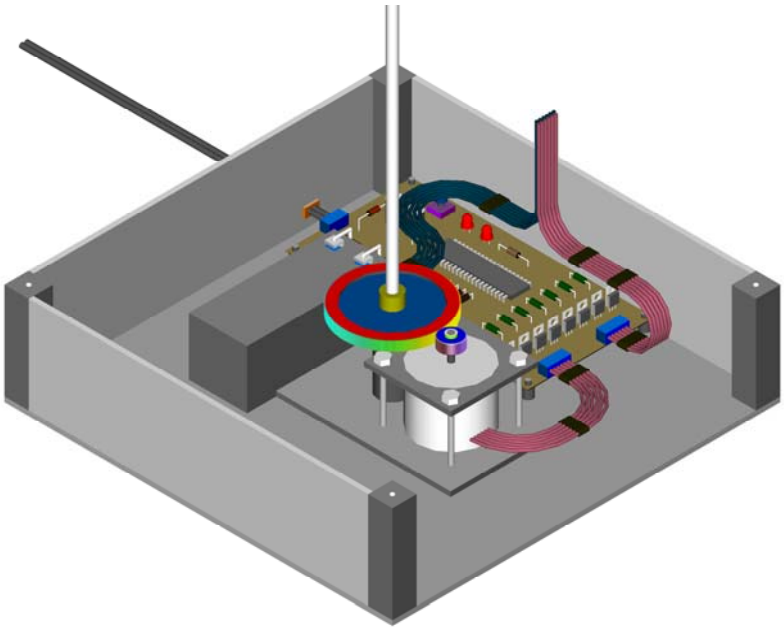


Рис. 3. Нижняя часть экспериментальной установки

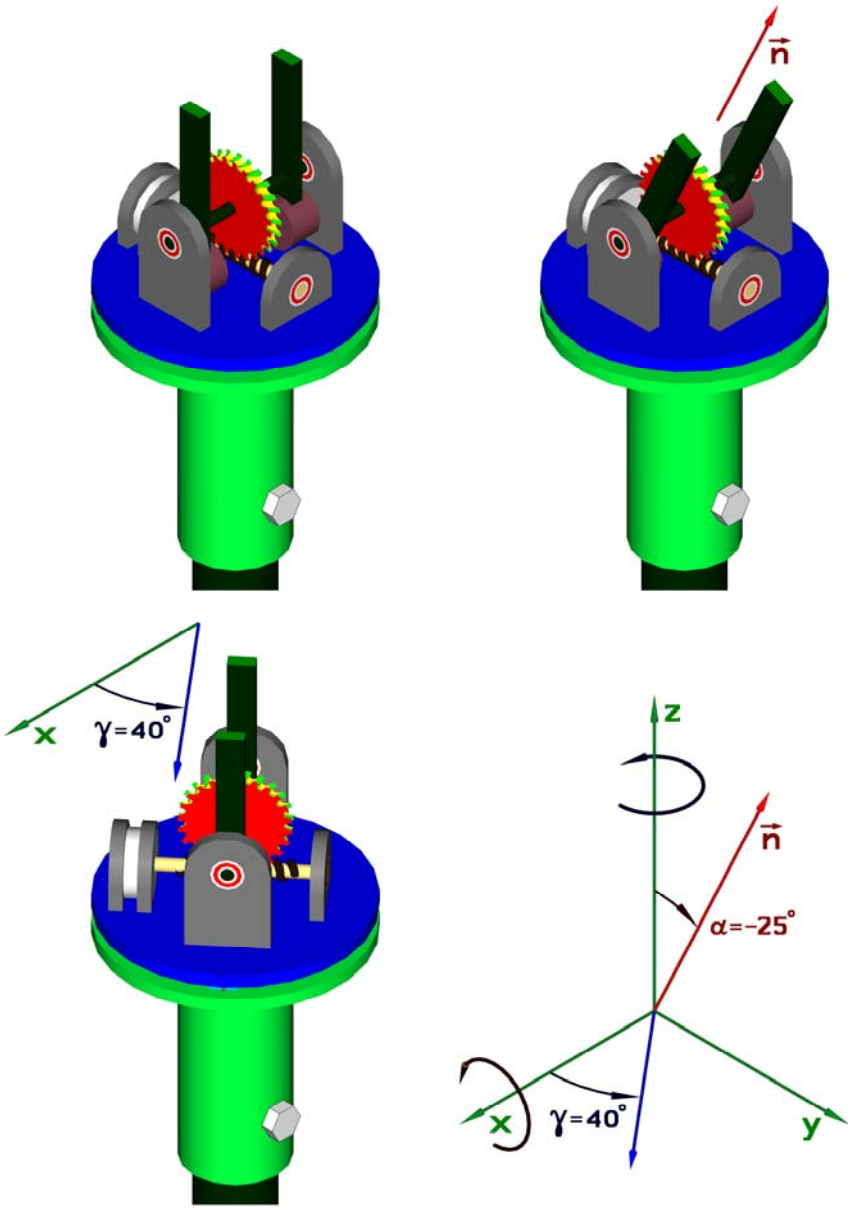


Рис. 4. Червячный механизм поворота вокруг горизонтальной оси

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ

Шевчук В.П. – д-р техн. наук, профессор
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском
Усманова С.Х. – студентка
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском

В настоящее время большое значение приобретают проблемы повышения эффективности управления процессом кристаллизации. Объектом исследования в данной работе является кристаллизатор МНРС.

Кристаллизатор – медная, открытая с обоих концов изложница с полыми водоохлаждаемыми стенками, имеет высоту около 1,5 метра.

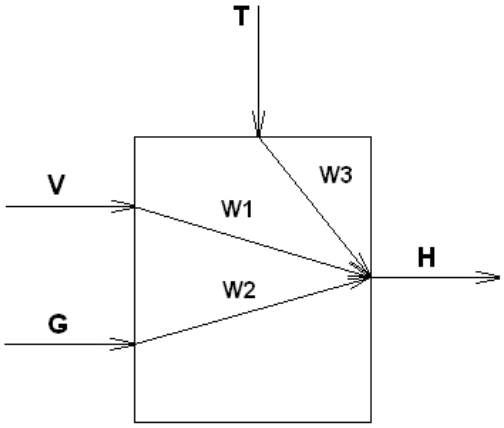


Рис. 1. Схема причинно-следственных связей

При изучении технологического процесса непрерывного розлива стали было выявлено, что для повышения качества заготовки необходимо поддерживать постоянным уровень металла (H) в кристаллизаторе, который способствует уменьшению количества неметаллических примесей и провалов металла под кристаллизатором. Уровень металла (H) поддерживается постоянным с помощью двух основных регулирующих величин – скорости вытяжки (V) заготовки и расхода металла (G). А кроме того, на объект управления – кристаллизатор – действует возмущение в виде температуры (T).

На основе эксперимента, а также аналитическим путём были получены модели по основным управляющим каналам и соответствующие им переходные характеристики:

• по каналу «скорость металла – уровень металла в кристаллизаторе»:

$$W(p) = \frac{0{,}324}{4{,}995p+1} e^{-26{,}302}.$$

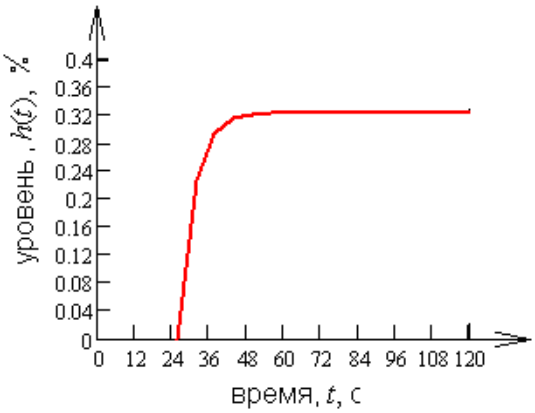


Рис. 2. Переходная характеристика с учетом запаздывания по каналу «скорость металла – уровень металла в кристаллизаторе»

• по каналу «расход металла – уровень металла в кристаллизаторе»:

$$W(p) = \frac{0{,}811}{6{,}994p+1} e^{-20{,}917}.$$

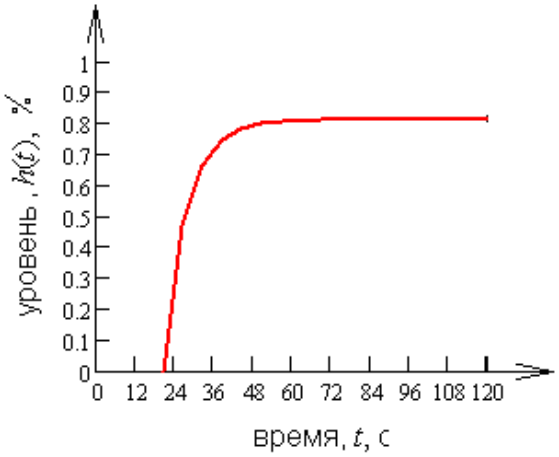


Рис. 3. Переходная характеристика с учетом запаздывания по каналу «расход металла – уровень металла в кристаллизаторе»

На основе анализа технологического процесса была разработана структурная схема автоматизации, которая представлена на рис. 4:

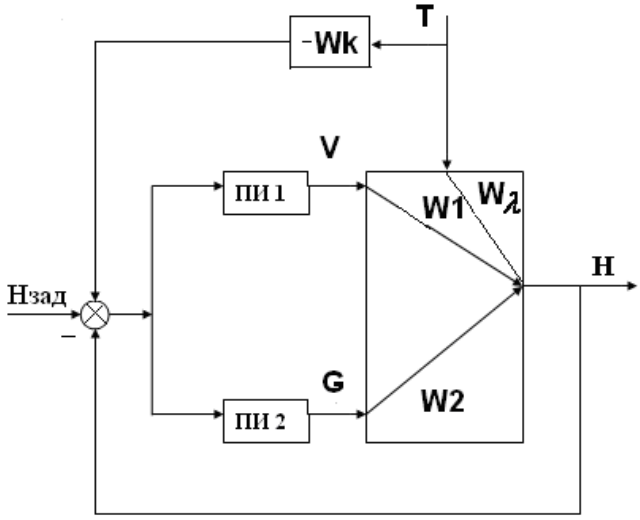


Рис. 4. Структурная схема автоматизации

С помощью программы Mathcad были рассчитаны настроечные коэффициенты регуляторов:

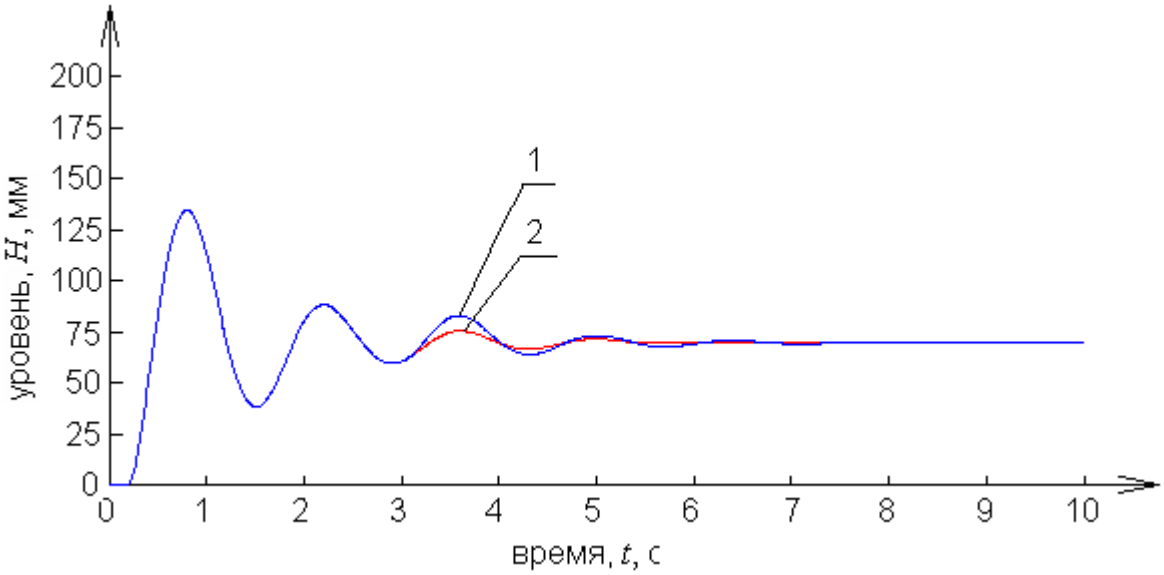
$$W_{ПИ1}(p) = 30{,}242 \cdot \left(1 + \frac{1}{0{,}578p}\right);$$

$$W_{ПИ2}(p) = 15{,}484 \cdot \left(1 + \frac{1}{0{,}659p}\right).$$

На основе значений передаточных функций объекта управления по основным управляющим каналам и передаточных функций ПИ-регуляторов была получена передаточная функция компенсатора в виде реально дифференцирующего звена:

$$W_k(p) = \frac{0{,}2p}{179{,}8p + 14}.$$

В процессе имитационного моделирования, которое проводилось с помощью программы VisSim, были получены переходные характеристики, представленные на рис. 5:



1 – без компенсации возмущения
2 – с компенсацей возмущения

Рис. 5. График переходных процессов

Таким образом, анализируя полученные переходные характеристики, мы приходим к выводу, что эффективность управления с компенсацией возмущения выше, чем эффективность управления без компенсации возмущения.

Следовательно, применение компенсатора в схеме автоматизации является необходимым.

СЕКЦИЯ № 2
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Руководители секции: ***Голованчиков Александр Борисович***
д-р техн. наук, профессор
Гончарова Людмила Константиновна
канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник

О ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТАХ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Сошинов А.Г. – канд. техн. наук, доцент
Камышинского технологического института (филиал)
Волгоградского государственного технического университета
Галущак В.С. – ст. преподаватель
Камышинского технологического института (филиал)
Волгоградского государственного технического университета
Лебедева Ю.В. – ведущий инженер
Камышинского технологического института (филиал)
Волгоградского государственного технического университета
Голованчиков А.Б. – д-р техн. наук, профессор
Волгоградского государственного технического университета

Бурное развитие ветроэнергетики в европейских странах, в США и Китае связано, прежде всего, с отсутствием собственных значительных запасов органического топлива. Для России это неактуально, так как она является крупнейшим поставщиком газа и нефти на топливном рынке. Однако повышение цен на органическое топливо коснулось также и России. Это связано с конечностью запасов органического топлива и с исчерпанием его добычи в легкодоступных местах.

В то же время строительство ветроэлектростанций (ВЭС), как альтернативной электроэнергетики, сдерживается отсутствием массового отечественного опыта сооружения таких объектов.

Прежде всего необходимо понимать, что сооружение ВЭС может осуществляться по варианту «москитной технологии». «Москитная технология» позволяет, не замораживая на длительное время финансовые средства (как например, при строительстве ГЭС, АЭС, ТЭС), вводить мощность практически в течение полугода после начала строительства ВЭС, что обеспечивает быструю финансовую отдачу капитала. Для этого сначала устанавливают 1-3 ветротурбины, схему выдачи мощности и щит управления. Дальнейшее наращивание мощности производится простым добавлением новых ветротурбин до достижения полной проектной установленной мощности ВЭС.

Так, по опыту строительства Донузлавской ВЭС (Крым, Украина) (рис. 1) через 6 месяцев после начала строительства она была включена в сеть на электрогенерацию. Была принята схема первоначальной установки 3-х ветроагрегатов производства США ЮСВ-110 по 110 кВт каждый. При этом завышенная стоимость первого пускового комплекса (0,33 МВт) связана с тем, что система управления и частично схема выдачи мощности ВЭС были выполнены на полную мощность (400 МВт). Однако такая схема позволила в дальнейшем безостановочно наращивать установленную мощность Донузлавской ВЭС, доведя её к 2008 г. до 16 МВт [1]. Та же схема была применена на Черноморском участке ДВЭС (Крым, Украина), где были введены в работу четыре ветроагрегата ВЭУ-250 производства «Павлоградского МЗ» мощностью по 250 кВт каждый. Пусковой комплекс был включен в сеть в течение года со дня начала строительства.

Рис. 1. Донузлавская ВЭС (Крым, Украина)

Поскольку в условиях рыночных отношений строительство ВЭС, как полноценного энергопредприятия, маловероятно, рассмотрим возможные варианты для условий Волгоградской области.

Наиболее отработанной формой организации ВЭС является создание ветроцеха (ВЦ) при существующем энергопредприятии. В этом случае отпадает необходимость создания дирекции и, как правило, всех сопутствующих ей отделов: бухгалтерии, снабжения, планового, транспортного, отдела ТБ и других; формируется и развивается только само производственное подразделение.

Такая схема была проработана в предложениях по строительству ветроцеха Камышинской ТЭЦ установленной мощностью 30 МВт [2].

В этих предложениях ветроэлектростанция организовывалась как структурное подразделение Камышинской ТЭЦ − ветроцех (ВЦ-30). Площадка строительства расположена на расстоянии 30 км от ТЭЦ, вблизи села Добринка. Дежурный эксплуатационный персонал, ввиду его малочисленности, предполагалось набрать в самом селе Добринка. Строители, монтажники и в последующем ремонтники должны были привлекаться на ВЭС, как прикомандированный персонал специализированных предприятий. Такая схема, помимо решения кадрового вопроса, давала существенное снижение доли оплаты труда в себестоимости вырабатываемой электроэнергии.

Другим вариантом строительства ВЭС является долевое участие в строительстве нескольких акционеров, заинтересованных в выработке собственной электроэнергии. При этом дивиденды по результатам работы ВЭС возвращаются акционерам в форме электрической энергии.

Необходимо отметить, что проведенное реформирование энергетики позволяет реализовать эти схемы. В общем плане схема выглядит следующим образом.

1. Предпринимательская структура, заинтересованная в строительстве ВЭС, организует акционерное общество (ЗАО «ВЭС»).

2. В состав акционеров входят другие предпринимательские структуры, заинтересованные в получении электроэнергии для своих производств.

3. Акционерное общество заключает договор с энергоснабжающей организацией на транспортировку своей электроэнергии к своим потребителям по сетям энергоснабжающей организации. В качестве компенсации затрат на транспорт электроэнергии энергоснабжающая организация забирает часть выработанной ВЭС электроэнергии и реализует ее другим потребителям.

4. Таким образом, часть бизнес-структур создают собственные генерирующие мощности и получают собственную электроэнергию, как часть производства на собственные нужды.

Конечно, такая схема нова, и на её отработку требуется время и немалые организационные усилия. Но эта схема снимает проблему финансирования строительства ВЭС, так как её строит бизнес-структура, которой это остро необходимо, и у которой есть деньги от другого бизнеса, являющегося основным.

Выгода бизнес-структуры акционера состоит в том, что он гарантирован на 20-30 лет от роста тарифов на электроэнергию, так как в себестоимости электроэнергии ВЭС отсутствует топливная составляющая, а эксплуатация ВЭС, как правило, ведется в автоматическом режиме, то есть при мининуме персонала. Это значит, что отсутствует или очень мала составляющая доля оплаты труда.

Основная составляющая цены электроэнергии – амортизационные отчисления, которые постепенно приходят к минимальному значению.

Таким образом, чем дольше работают собственные ветротурбины, установленные на акционерной ВЭС, тем дешевле электроэнергия для их собственника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. htth://space.com.ua/gateway/news.nsft.

2. *Галущак В.С.*, *Лысенко Т.П.* О вытеснении топливной составляющей КамТЭЦ // Доклад в ОАО «Волгоградэнерго», 2004. – С. 104.

СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ КАДРОВ ДЛЯ ЭНЕРГОПРЕДПРИЯТИЙ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ: ВЗГЛЯД НА РЕГИОНАЛЬНОЕ СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПАРТНЕРСТВО ВУЗА И БИЗНЕСА

Орлицкене И.А. – ассистент
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском

Реформирование современного российского образования, как отмечают исследователи, осуществляется в направлении регионализации, что неизбежно ведет к перераспределению функций, ресурсов, результатов деятельности в

пользу регионов. Сущность региональной политики РФ в области профессионального образования состоит в переходе от отраслевого к преимущественно региональному развитию систем профессионального образования. Это связано с тем, что регион, как социум, должен приобрести способность реализовать высокий уровень самообеспечения научными и образовательными услугами в системе единого образовательного пространства страны, способности к интеграции в мировое образовательное пространство с сохранением самобытности социокультурных составляющих регионального характера.

Несмотря на достаточно разветвленную сеть образовательных учреждений технического профиля, ключевая роль в подготовке кадров энергетики Волгоградской области принадлежит филиалу ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском. Главной задачей, которую ставит перед собой филиал, является предоставление студентам качественного образования.

Основная особенность экономики современного периода состоит в том, что знания становятся главным источником конкурентного преимущества и зависят, в первую очередь, от решения проблем качества образования.

Качество образования является основным условием достижения высокой степени пригодности выпускника вуза к трудоустройству и ключевым фактором стратегического менеджмента вуза.

Обобщая многочисленные формулировки качества образования и абстрагируясь от понятия «пригодности к трудоустройству», можно заключить, что качество образования – это синтетический показатель, отражающий совокупное проявление многих факторов, формирующих принцип его применимости, который определяется целями использования образования, служебными функциями, нормами совместимости служебных функций со средой применения и требованиями потребителя.

Разрабатывая системы менеджмента качества образования, вузы сталкиваются с рядом проблем и противоречий. Прежде всего, по мнению ректора Череповецкого государственного университета Владимира Грызлова, это:

1) неидентичность требований потребителя к качеству образования: работодатель – узкая специализация, студент – универсальность знаний, общество – умение жить и учиться всю жизнь;

2) отсутствие системного стратегического партнерства «вуз – предприятие»: вуз – ценностно-ориентированная личность, предприятие – целеориентированная личность;

3) методологическая несовместимость целей образовательных стандартов и программ: стандарты – квалификационный подход, программы – компетентностный подход;

4) декларативность автономии и аккредитации вуза: автономия – эффект синергизма, аккредитация – жесткие требования;

5) жесткость индивидуализации образования «вуз – студент»: вуз – интенсификация обновления знаний, увеличение сроков подготовки; студент – ограниченные возможности усвоения и средства.

Разрешение этих и других противоречий ректор Череповецкого государственного университета видит в четком представлении того, в какой части высшее образование является общественным, социальным благом, а в какой – образовательной услугой. Также Владимир Грызлов считает необходимым развивать системное стратегическое партнерство вузов с бизнесом.

При этом основным стимулом формирования партнерских отношений является взаимная заинтересованность в повышении качества подготовки специалистов. Именно желание получить специалистов высокого качества должно заставлять предприятия и организации – потребителей выпускников – инвестировать средства и выделять ресурсы для системы высшего профессионального образования, одновременно реализуя тем самым одну из задач социальной ответственности бизнеса.

Главным звеном стратегических планов крупных промышленных регионов, в том числе Волгоградской области, является стратегия развития ведущих предприятий, что создает своего рода корпоративный климат и необходимость проведения некоей региональной политики. Волжский филиал МЭИ, являясь одной из важнейших энергетической составляющей социальной инфраструктуры города Волжского и региона, непосредственно участвует в формировании этого климата.

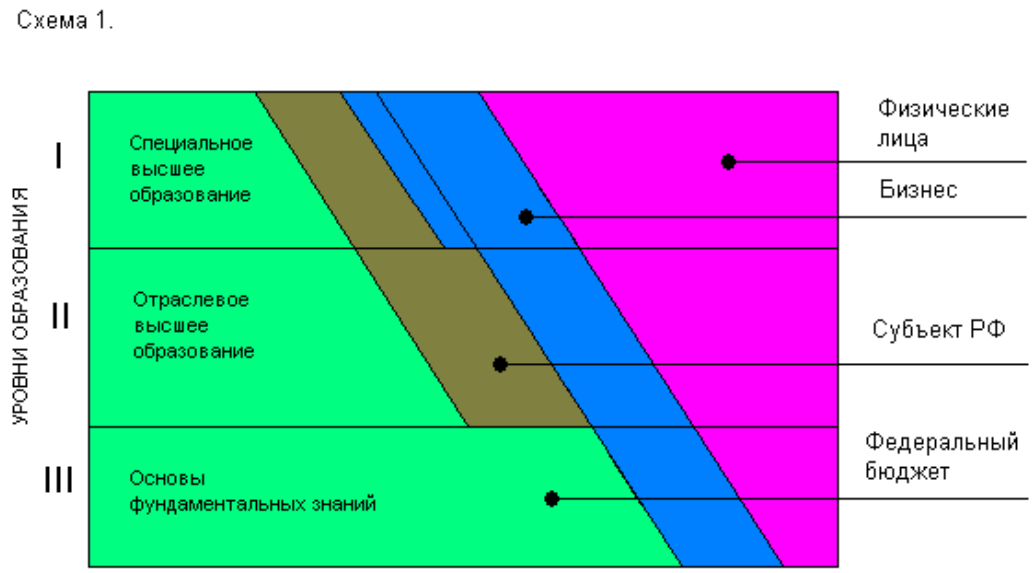
Существенным преимуществом региональных вузов является их близость к базе абитуриентов и рынку потребителей. В этом смысле вуз действительно становится узловым центром реального образовательного пространства. Все внутренние проблемы этого пространства, позитивные и негативные, являются предметом исследования и включаются в образовательные программы через вузовский и региональный компонент учебных планов.

Целенаправленное участие субъекта РФ и регионального бизнеса в формировании отраслевой и специальной составляющих образовательной программы можно характеризовать как некое техническое задание, которое должно быть частью корпоративных отношений и в определенной степени оплачиваться заказчиком. Следует отметить, что споры вокруг участия региональных бюджетов и средств предприятий в доле затрат на обучение специалистов обычно сводятся к общему предложению оказывать финансовую поддержку вузам. Такой упрощенный, если не сказать – иждивенческий, подход не способствует нормализации корпоративных, партнерских отношений.

В предлагаемом подходе подготовки образовательных программ формирование профессионально-корпоративной культуры, вся корпоративная составляющая представляют такой набор образовательных механизмов, который конкретно работает на стратегическом поле региональной экономики, является своего рода продукцией с определенными входами, выходами и стоимостью. Реальная оценка этой продукции как качественная, с учетом удовлетворения требований потребителя, так и стоимостная исключают прецедент спора и создают благоприятный инвестиционный климат.

Таким образом, создается достаточно понятная схема смешанного финансирования образовательных программ (см схему).

Схема – Смешанное финансирование образовательных программ



С одной стороны – федеральный бюджет, который гарантирует финансовое обеспечение деятельности и развитие вуза до уровня статистической стабильности качества подготовки специалистов, и это финансирование назначается в соответствии с установленными четкими, прозрачными нормативами ресурсной базы вуза.

С другой – инвестиции от субъекта РФ и бизнеса, которые обеспечивают развитие вуза в интересах региональной экономики. Доля этих инвестиций должна обсуждаться при разработке стратегии развития вуза, когда власти определяют приоритетные отраслевые направления экономики, а бизнес определяет свои будущие потребности в специалистах и требования к ним.

Данная схема не исключает наполнения бюджета вуза за счет средств физических лиц, желающих обучаться по различным образовательным программам или продолжающих обучение с полной компенсацией затрат, как не выдержавших требований конкурсного отбора.

Хотелось бы затронуть еще одну важную проблему. Национальный проект реформы российского образования и формирование национальной инновационной инфраструктуры являются одним из приоритетов стратегии развития нашего государства. Очевидно, что при создании национальной инновационной инфраструктуры остро встает проблема формирования интеллектуальной элиты нового поколения, способной соединить широкую гуманитарную эрудицию и высокую компетентность в освоении средств и инструментов продуктивной деятельности. Одним из способов решения данного вопроса является многоуровневая система подготовки, которая в последнее время активно обсуждается и внедряется в ряде вузов.

Прежде всего, эта система, по мнению специалистов, способствует естественному отбору студентов и практически исключает подготовку выпускников вуза с «троечными» дипломами. Кроме того, система имеет еще ряд позитивных моментов для всех заинтересованных в образовательном пространстве сторон.

Во-первых, предприятие: реальность прогноза и определенность регулирования заказа в сокращенные сроки; закрепление специалистов на предприятии; сокращение «измен» профессиональной подготовки; конкурентное управление повышением квалификации; системность, целенаправленность, обоснованность себестоимости элитной подготовки специалистов.

Во-вторых, выпускник вуза: облегчение международного академического признания и увеличение мобильности; выбор более гибкой стратегии и траектории образования; определенные гарантии будущей востребованности и пригодности к трудоустройству.

В-третьих, сам вуз: более гибкое маневрирование и модернизация подготовки специалиста (базовая – отраслевая, углубленная – специальная); повышение качества подготовки специалистов в сокращенные сроки (выпускники ссузов); долгосрочные договорные партнерские отношения и защита интересов вуза.

Развивая систему многоуровневого образования в рамках общей вузовской концепции и компетентностной ориентации, по всей видимости, необходимо ввести первый уровень образования, обозначив его как основу фундаментального образования (по сути, это и есть высшее образование), и выдавать студенту, подтвердившему свои знания, диплом бакалавра академической степени по соответствующей отрасли науки. Например: физико-математические, естественные, гуманитарные, педагогические, технические, экономические и т.д. Второй уровень должен определять отраслевое образование по укрупненной группе специальностей, и студенту, подтвердившему свои знания, выдавать диплом бакалавра отраслевого высшего образования по направлению. Например: физика, математика, филология, металлургия, экономика, строительство и т.д. Третий уровень должен определять специальное квалификационное высшее образование, и студенту, подтвердившему свои знания, выдавать диплом магистра или дипломированного специалиста по специальности. Например: радиофизика, филология, лингвистика, клиническая психология, технология строительных материалов, металлургия черных металлов, финансы и кредит, и т.д. (см. таблицу).

Таблица

Схема уровней университетского образования

1-й уровень	ОСНОВЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ (Высшее образование)	Диплом бакалавра академической степени	Конкурсный отбор
2-й уровень	ОТРАСЛЕВОЕ ОБРАЗОВАНИЕ (Отраслевое высшее образование)	Диплом бакалавра отраслевого высшего образования	Конкурсный отбор
3-й уровень	СПЕЦИАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ (Специальное высшее образование)	Диплом магистра или специалиста специального выс-	Конкурсный отбор

		шего образования	
4-й уровень	АСПИРАНТУРА	Диплом кандидата наук	

Таким образом, в соответствии с этой схемой государственные образовательные стандарты должны разрабатываться для соответствующего уровня образования и корреспондироваться между собой через образовательные программы. Основная задача образовательных программ, которые должны разрабатываться в вузе при участии работодателей и защищаться в ходе аттестации, – обеспечить совместимость государственных образовательных стандартов с отраслевыми стандартами и стандартами предприятий через образовательные модули для формирования профессионального мышления, квалификационных признаков и компетенций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Грызлов В.* Актив системы // Экономика и образование сегодня. – 2007. – Выпуск № 12. – С. 94-96.

2. *Коноплина Н.*, *Засыпкин В.* Передовая преобразований // Экономика и образование сегодня. – 2007. – Выпуск № 12. – С. 103-105.

3. *Саликов Ю.А.* Обоснование целевой направленности организации // Вестник государственного университета управления: развитие отраслевого и регионального управления. – 2007. – Выпуск № 6. – С. 184-189.

4. *Саликов Ю.А.*, *Зенин А.А.* Обоснование концепции организационных потребностей // Управление персоналом. – 2008. – Выпуск № 15. – С. 54-55.

5. *Пенкина О.* По сигналу // Поиск. – 2008. – Выпуск № 30. – С. 5.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СХЕМ ОБЕССОЛИВАНИЯ ВОДЫ НА ОСНОВЕ МЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Одоевцева М.В. – канд. техн. наук, доцент
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском
Малявко Ю.В.*, *Объедкова Н.А.*, *Дылкина Н. – студенты
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском

Необходимость повышения качества питательной воды для обеспечения надежности и увеличения ресурса работы современных энергоблоков, возможность сокращения солевых стоков котельных и промышленных энергетических объектов, уменьшение затрат на химические реагенты при эксплуатации водоподготовительных установок (ВПУ) и стремление к снижению трудозатрат по их обслуживанию определяют интерес к мембранным технологиям [1-4].

Наиболее распространенная в России мембранная технология, применяемая в энергетике и промышленности для обессоливания воды, – обратный осмос. Обратноосмотические мембраны позволяют обессоливать исходную воду на 98-99 % [2].

Обратноосмотические установки могут быть одноступенчатыми, то есть исходная вода проходит через обратноосмотическую мембрану один раз, разделяясь под действием давления на пермеат и концентрат (ретинтат). В некоторых случаях применяются двухступенчатые УОО, то есть пермеат после УОО первой ступени повторно обессоливается на второй ступени УОО. В этом случае концентрат второй ступени УОО возвращается на вход в УОО первой ступени.

Конструктивно УОО представляет собой набор обратноосмотических модулей, соединенных внутри УОО по определенной схеме. В каждом модуле установлено от одной до девяти обратноосмотических мембран в зависимости от конструктивного исполнения УОО.

Широкий интерес к использованию метода обратного осмоса как метода обессоливания при подготовке воды для паровых котлов вызван тем, что его применение позволяет сократить на 90 % количества потребляемых реагентов (кислот, щелочей) и одновременно снизить количество стоков [2]. Современные обратноосмотические мембраны задерживают, кроме ионов солей, и органические молекулы, и силикаты, что делает обратный осмос чрезвычайно эффективным и перспективным в энергетике.

Одним из способов расширения использования мембранных технологий является разработка программ, позволяющих заранее спроектировать схему включения мембранной системы. Для этого на стадии проектирования оборудования обратного осмоса необходимо привлекать специализированные инжиниринговые и химические компании, в том числе непосредственно те компании, которые занимаются выпуском мембранного оборудования. Для апробации технологических решений применяются пилотные установки. Это длительный и трудоемкий процесс. Поэтому использование компьютерных моделей, которые позволяют проектировать установки, реализующие мембранные процессы, является актуальной задачей.

Практически каждая из фирм, занимающихся мембранными технологиями, имеет собственную математическую модель, в основу которой положены определенные характеристики мембран конкретной фирмы.

Применение компьютеров в научных исследованиях, при проектировании и управлении химико-технологическими процессами является мощным инструментом изучения сложных систем. С помощью методов компьютерного моделирования можно прогнозировать и имитировать поведение объектов химической промышленности в различных условиях их эксплуатации [5].

В основе разработанных программ лежат исследования зависимостей характеристик мембран от состава исходной воды, заданных параметров установок, условий их эксплуатации и т.д. Для современных мембран, по-разному задерживающих различные компоненты природной воды, эти программы не всегда дают точный результат. На основе экспериментальных и опытных данных созданы программы, которые позволяют подобрать оптимальный тип мембран и условия эксплуатации (выход фильтрата, рабочее давление), сделать технологический расчет установок, определить типы применяемых реагентов и т.д. [6].

Процесс проектирования мембранных установок состоит из двух основных этапов – сбор исходных данных и выбор технологической цепи и аппаратного оформления. Основная информация, которая должна быть получена на этапе сбора исходных данных: требуемое качество воды; тип водоисточника; требуемая производительность системы и режим водопотребления; состояние коммуникаций; наличие площадей для размещения оборудования.

Современные мембранные системы водоподготовки позволяют получать очищенную воду практически из любых природных источников, как артезианских, так и поверхностных. Рулонные мембранные элементы, а также материалы и блоки предподготовки стандартизованы, и их типоразмеры позволяют проектировать системы водоподготовки производительностью от нескольких десятков литров до сотен кубических метров в час. Однако лишь немногие ведущие фирмы, самостоятельно изготавливающие основные элементы систем водоподготовки, могут использовать их в полной мере, так как расчетные корреляции и проектные нормативы, полученные эмпирически, являются их «ноу-хау». Многие из этих нормативов являются определяющими не только для проектирования, но и для эффективной эксплуатации мембранных систем водоподготовки

Качество исходной воды является основой для расчета мембранного контура, а также является основной причиной загрязнения мембран в процессе эксплуатации. Поэтому важным фактором проектирования мембранных установок является разработка достоверных корреляций, определяющих снижение производительности мембран во время эксплуатации.

Примерами программ, позволяющими провести расчет и проектирование мембранных водоподготовительных установок, являются «ROSA», «Hydranautics», «Winflows», «WATERLAB» [7].

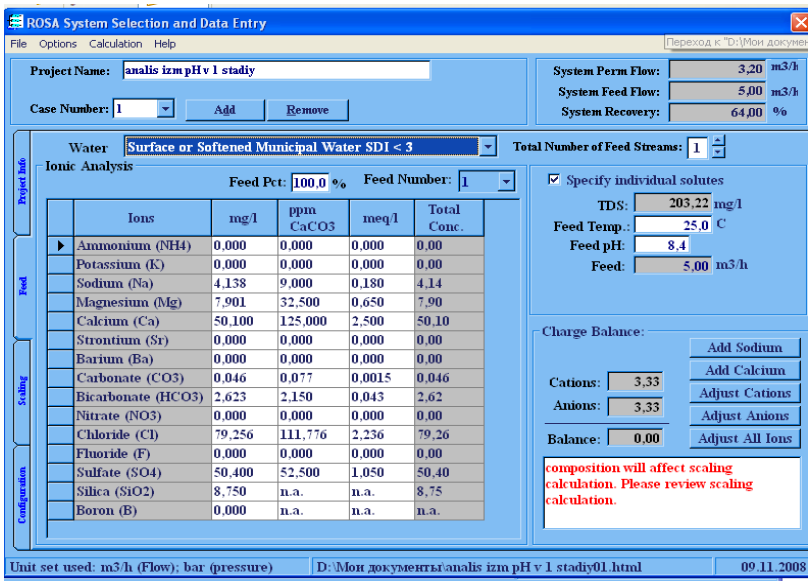
Программы «ROSA», «Hydranautics», «Winflows» – это проектирующие программы. Они позволяют моделировать установки обратного осмоса и определять эксплутационные показатели элементов оборудования, реализующего мембранные процессы.

Для осуществления проектирования пользователю необходимо задать: характеристики исходной воды ионный состав, pH, температуру (для большинства мембран должна быть в пределах от 0 до 45 °C), также нужно указать желаемый выход пермеата, тип и возраст используемых мембран, количество ступеней, нормы снижения количества пермеата и концентрирования солей. «ROSA» учитывает возможность подачи нескольких потоков исходной воды с разными характеристиками, при этом расчет будет производиться для потока с наихудшими показателями (то есть с наибольшим индексом SDI).

Внешний вид экрана программы «ROSA» для ввода информации о составе питающей воды представлен на рис. 1.

Также производится ввод данных по конфигурации установки, а именно: количество стадий обработки (stage), корпусов в каждой стадии (vessels in

stage), мембранных элементов в корпусе (elements in vessel), тип мембранных элементов (низконапорный или высоконапорный).



Ions	mg/l	ppm CaCO3	meq/l	Total Conc.
Ammonium (NH4)	0,000	0,000	0,000	0,00
Potassium (K)	0,000	0,000	0,000	0,00
Sodium (Na)	4,138	9,000	0,180	4,14
Magnesium (Mg)	7,901	32,500	0,650	7,90
Calcium (Ca)	50,100	125,000	2,500	50,10
Strontium (Sr)	0,000	0,000	0,000	0,00
Barium (Ba)	0,000	0,000	0,000	0,00
Carbonate (CO3)	0,046	0,077	0,0015	0,046
Bicarbonate (HCO3)	2,623	2,150	0,043	2,62
Nitrate (NO3)	0,000	0,000	0,000	0,00
Chloride (Cl)	79,256	111,776	2,236	79,26
Fluoride (F)	0,000	0,000	0,000	0,00
Sulfate (SO4)	50,400	52,500	1,050	50,40
Silica (SiO2)	8,750	n.a.	n.a.	8,75
Boron (B)	0,000	n.a.	n.a.	n.a.

Рис. 1. Диалоговое окно для ввода информации о составе питающей воды

Внешний вид экрана программы «ROSA» для ввода данных по конфигурации установки представлен на рис. 2.

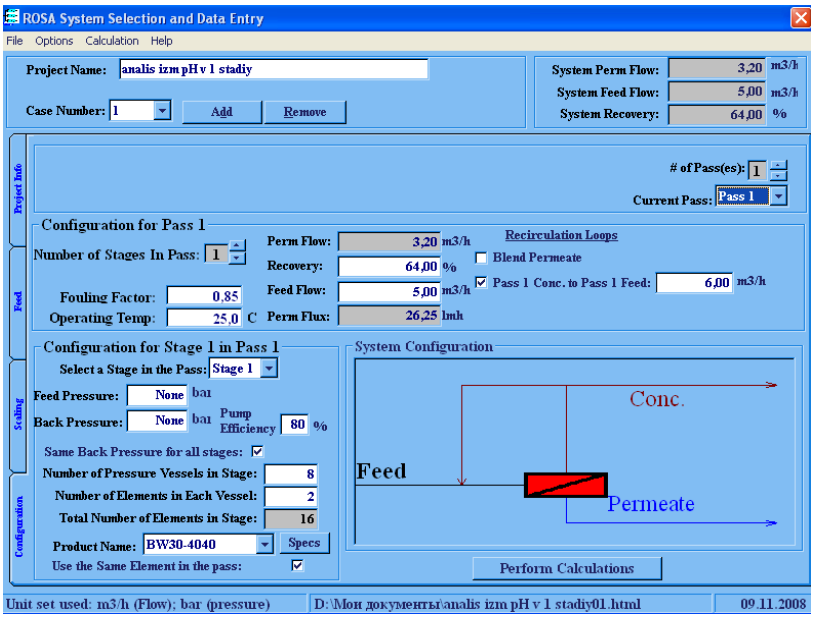


Рис. 2. Диалоговое окно для ввода данных по конфигурации установки

При проектировании мембранных установок программами учитываются: наличие предварительной очистки, способ обработки пермеата, а также различные способы рециркуляции. Для оптимизации проектирования мембранной установки на основании рекомендаций программы можно вернуться и внести необходимые изменения в исходные данные.

В программах предусмотрена коррекционная обработка воды для регулирования pH введением серной кислоты (H_2SO_4), соляной кислоты (HCl) или гидроокиси натрия (NaOH).

Рассмотренные выше программы позволяют подбирать схемы оптимального гидравлического распределения.

Не менее важным для стабильной работы установок является расчет показателей, влияющих на образование осадков на мембранах, а также выбор режимов эксплуатации мембранных аппаратов. Эти задачи позволяет решить разработанная компанией WATERLAB программа для технологического расчета установок обратного осмоса. В зависимости от типа и состава исходной воды и параметров установок «WATERLAB» позволяет произвести подбор необходимых для эксплуатации реагентов (антискалантов, моющих растворов), определить их дозировки, расходы, режимы эксплуатации, рекомендации по проведению химических промывок. Например, в программе «WATERLAB» был произведен расчет и выбран водно-химический режим для двухступенчатой схемы обратноосмотической установки, смоделированной в программах «ROSA» и «Hydranautics». При расчете использовались показатели воды реки Волги. В результате расчетов выявлено, что оптимальная доза ингибитора (Аминат-К) – 10 мг/л; время работы обратноосмотической установки до промывки – 168 мин.

Однако незначительное изменение показателей качества воды не оказывает существенного влияния на результаты, то есть для источников вод одного класса программа предлагает одинаковые данные, то есть инструкции по водно-химическому режиму обратноосмотической установки, предлагаемые данной программой, носят рекомендательный характер и в большей степени зависят от производительности и выхода фильтрата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Первов А.Г.*, *Андрианов А.П.*, *Козлова Ю.В.*, *Мотовилова Н.Б.* Основы создания новых технологий обработки поверхностных вод с применением нанофильтрации // Водоснабжение и санитарная техника. 2007. – № 5.

2. Экономические аспекты применения обратноосмотической и ультрафильтрационных технологий в энергетике / *Юрчевский Г.Б.*, *Первов А.Г.*

3. *А.Г. Первов*, *А.П. Андрианов*, *Р.В. Ефремов*. Мембранные технологии в системах централизованного водоснабжения. Сб. «Очистка и кондиц. природной воды», научные труды ВОДГЕО, выпуск 5. – С. 33-41.

4. Энергосбережение и водоподготовка. 2005. № 5 (37). – Стр. 10-14.

5. Мембранные процессы и технологии подготовки питьевой воды. Химия и технология воды. 2006. Т. 28. – № 1. – Стр. 34-41.

6. *Гартман Т.Н.*, *Клушин Д.В.* Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 415 с.

7. *Первов А.Г.*, *Макаров Р.И.*, *Андрианов А.П.*, *Ефремов Р.В.* Мембраны: новые перспективы освоения рынка питьевой воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2002. – № 10.

8. Интернет-сайты www.Dow.com; www Filmtec.com; www.Osmonics.com.

СЕКЦИЯ № 3
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Руководители секции: ***Бибин Евгений Александрович***
ген. директор ОАО «Волгоградэнерго»
Васильев Петр Дмитриевич
канд. техн. наук, доцент

ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ КАК НАПРАВЛЕНИЕ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОТРЕБИТЕЛЯ. СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

Ракутько С.А. – канд. техн. наук, доцент
Дальневосточного государственного аграрного университета

В настоящее время особую актуальность среди прочих направлений развития и модернизации энергетики приобретают вопросы энергосбережения, решение которых подразумевает снижение энергоемкости как конечного продукта, так и промежуточных стадий технологического процесса передачи и потребления электрической энергии [3]. В соответствии с известным определением, под энергоемкостью понимается величина потребления энергии и (или) топлива на основные и вспомогательные технологические процессы изготовления продукции, выполнение работ, оказание услуг на базе заданной технологической системы [2]. Численным выражением энергоемкости системы является показатель, представляющий собой отношение энергии, потребляемой системой, к величине, характеризующей результат функционирования данной системы.

Для электрической сети как технического средства передачи энергии от источника к энерготехнологическому процессу потребителя, как правило, полная мощность является входом электрической сети, а активная мощность – ее выходом. Тогда величина энергоемкости ε, отн. ед., может быть выражена через отношение полной мощности к активной и представляет собой величину, обратную коэффициенту мощности сети, то есть

$$\varepsilon = \frac{S}{P} = \frac{1}{\cos\psi}, \qquad (1)$$

где $\cos\psi$ – коэффициент мощности, отн. ед.; P – активная мощность, Вт; S – полная мощность, ВА.

Таким образом, снижение энергоемкости энергетической системы потребителя возможно путем повышения ее коэффициента мощности.

Наиболее часто используемым способом повышения коэффициента мощности (и, соответственно, снижения энергоемкости) является применение управляемых

конденсаторных батарей. Так, известно устройство для реализации данного способа, содержащее датчик напряжения, датчик реактивного тока нагрузки, блок деления, общий исполнительный элемент, переключающий секции конденсаторной установки [1]. Однако применение данного способа и данного технического устройства не обеспечивает минимальной энергоемкости при несимметрии фаз, что является типичным режимом работы в сельских электрических сетях. На рисунке показана схема устройства, обеспечивающего минимизацию энергоемкости энергетической системы потребителя в условиях несимметричной загрузки фаз.

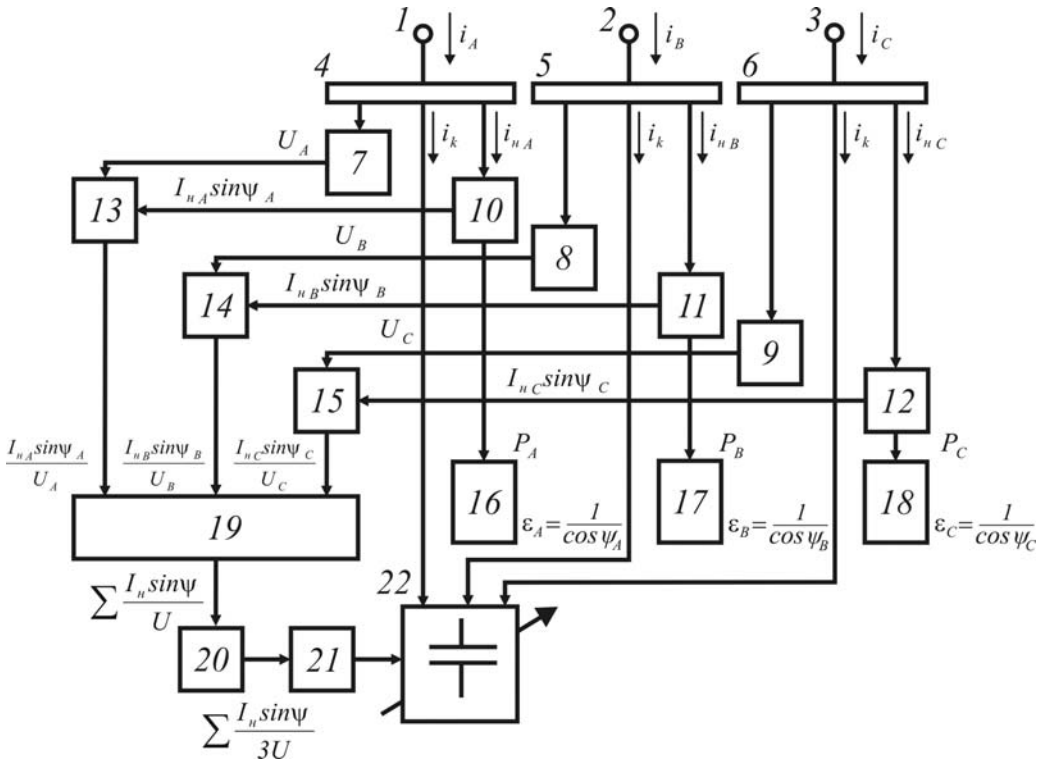


Рис. Схема устройства снижения энергоемкости

Устройство содержит фазные клеммы 1, 2, 3; фазные питающие шины 4, 5, 6; датчики напряжения 7, 8, 9; датчики реактивного тока 10, 11, 12; блоки деления 13,14,15; фазные нагрузки 16, 17, 18; сумматор 19; блок масштабирования 20; исполнительный элемент 21; регулируемую конденсаторную установку 22. Устройство работает следующим образом. К питающим шинам подается фазное питающее напряжение.

Для фазы *A*

$$u_A = U\sqrt{2}\sin(\omega t + \varphi), \qquad (2)$$

где U – действующее значение напряжения; ω – частота; φ – фаза питающего напряжения.

Это напряжение измеряется датчиком 7 напряжения. Ток нагрузки отстает по фазе от питающего напряжения на угол ψ_A.

Значение тока нагрузки

$$i_{нA} = I_{нA}\sqrt{2}\sin(\omega t + \varphi - ш_A) =$$
$$= I_{нA}\sqrt{2}\cos\psi_A \sin(\omega t + \varphi) - I_{нA}\sqrt{2}\sin ш_A \cos(\omega t + \varphi), \quad (3)$$

где $I_{нA}$ – действующее значение тока.

Действующее значение реактивной составляющей тока нагрузки $I_{нA}\sin\psi_A$ измеряется датчиком реактивного тока 10 в фазе A. Ток компенсирующего конденсатора опережает по фазе питающее напряжение на четверть периода

$$i_k = UC_A\omega\sqrt{2}\cos(\omega t + \varphi), \quad (4)$$

где C_A – емкость конденсаторной установки для фазы A.

Ток в фазе A

$$i_A = i_{нA} + i_k = I_{нA}\sqrt{2}\cos\psi_A \sin(\omega t + \varphi) - I_{нA}\sqrt{2}\sin ш_A \cos(\omega t + \varphi) +$$
$$+ UC_A\omega\sqrt{2}\cos(\omega t + \varphi). \quad (5)$$

Значение коэффициента мощности

$$\cos\psi_A = \frac{UI_{нA}\cos\psi_A}{U_A\sqrt{(I_{нA}\cos\psi_A)^2 + (UC_A\omega - I_{нA}\sin\psi_A)^2}}. \quad (6)$$

Коэффициент мощности принимает максимальное выражение, равное единице, при выполнении равенства

$$UC_A\omega = I_{нA}\sin\psi_A. \quad (7)$$

Это возможно, если емкость конденсаторной установки в фазе A регулируется по закону

$$C_A = \frac{I_{нA}\sin\psi_A}{U\omega}. \quad (8)$$

Таким образом, если емкость конденсаторной установки регулировать пропорционально отношению действующего значения реактивной составляющей тока нагрузки к действующему значению питающего напряжения, то коэффициент мощности сети будет максимальным и равным единице, а энергоемкость сети – минимальна.

При несимметричной нагрузке фаз требуются различные значения емкостей в разных фазах, то есть

$$C_A \neq C_B \neq C_C. \quad (9)$$

В этом случае для минимизации энергоемкости сети емкость каждой фазы трехфазной конденсаторной установки устанавливают как среднее арифметическое значение из вычисленных значений емкости:

$$C = \frac{C_A + C_B + C_C}{3}. \qquad (10)$$

В рассматриваемом устройстве вычисление требуемой величины емкости конденсаторной установки производится сумматором 19, к входам которого подключены выходы блоков деления 13, 14, 15. Выход сумматора через блок масштабирования 20 соединен с исполнительным элементом 21, который переключает секции конденсаторной установки 22 пропорционально среднеарифметическому значению вычисленных для всех фаз сети значений емкости.

Применение рассматриваемого устройства для управления конденсаторной установкой обеспечивает минимизацию энергоемкости энергетической системы потребителя в условиях несимметричной нагрузки фаз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 855851 СССР, МКИЗ H02J 3/18. Устройство для управления конденсаторной установкой / Комлев В.П., Малафеев С.И.; заявитель Владимирский политехнический институт. – №2826173/24-07; заявл. 12.10.79; опубл. 15.08.81. – Бюл. № 30.

2. ГОСТ Р 51387-1999. Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения. Введ. 2000-07-01.

3. *Карпов, В.Н.* Энергосбережение: метод конечных отношений / В.Н. Карпов. – СПб, 2005. – 138 с.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В УСЛОВИЯХ ГОЛОЛЕДНЫХ НАГРУЗОК ПРИМЕНЕНИЕМ МНОГОГРАННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОПОР

Лебедева Ю.В. – ведущий инженер
Камышинского технологического института (филиал)
Волгоградского государственного технического университета

Воздушные линии являются наименее надежным элементом сетей – до 80 % всех повреждений в сетях приходится на их долю (поверхностные и другие пробои изоляции, отложения снега и изморози, гололедно-ветровые нагрузки и др.). Наиболее тяжелыми по своим последствиям являются гололедные и ветровые воздействия, приводящие к массовым авариям с отключением на длительное время большого числа потребителей [1].

Многогранные металлические опоры (ММО) в большинстве развитых стран мира используются уже на протяжении 30-35 лет. Они применяются и в распределительных сетях, и в сетях высокого напряжения, и в качестве промежуточных опор, и в качестве сложных – анкерные, переходные и др. В России многогранные опоры ВЛ с телескопическим соединением секций до недавнего

времени не применялись, так как отсутствовало их производство. В настоящий момент ситуация в корне изменилась [2]. Российские заводы наладили производство многогранных опор самой широкой номенклатуры (ОАО «Опытный завод “Гидромонтаж”», ОАО «Уральская энергетическая строительная компания»).

Рис. Примеры применения многогранных металлических опор

Многогранные металлические опоры появились в результате усилий по объединению в одной опоре положительных качеств металлических решётчатых опор и железобетонных опор. Опоры представляют собой многогранную коническую конструкцию, изготовленную из стального листа. Опора может состоять из одной, двух и более секций (в зависимости от требуемой высоты). Длина секции до 16 метров. Однако чаще всего используются секции длиной до 11,5 метров, что обусловлено удобством транспортировки стальных листов и секций готовых опор железнодорожным и автомобильным транспортом. Соединение секций между собой возможно как фланцевое, так и безфланцевое (телескопическое). В грунт опоры устанавливаются либо непосредственно в пробуренную скважину, либо крепятся на фланцах к железобетонному фундаменту [3].

Большое разнообразие технических характеристик многогранных металлических опор позволяет применять их в электроэнергетике (линии электропередачи напряжением 6-10, 10-35, 110 кВ; строительстве трансформаторных подстанций), в железнодорожном транспорте (контактные сети, линии автоблокировки), в дорожном строительстве (осветительные опоры для автомагистралей, дорожные указатели, флагштоки), в коммунальном хозяйстве (осветительные опоры для городских улиц, контактные сети городского электрического транспорта), при сооружении телекоммуникационных мачт и т.д.

В сравнении с традиционно применяемыми железобетонными и решётчатыми многогранные опоры имеют ряд существенных преимуществ. К примеру, надежность многогранных опор значительно выше бетонных и решетчатых опор, особенно в сложных гололедно-ветровых условиях. Объемы разрушений при авариях, связанных с гололедом, снижаются в несколько раз. Отсутствует эффект «скручивания», как у МРО, и эффект «домино», как у ЖБО. Многогранные опоры вандалоустойчивы.

В аварийном режиме при развитом гололеде многогранная стальная опора выдерживает нагрузки в 2-3 раза больше, чем железобетонная опора. Объёмы

разрушений при авариях снижаются в несколько раз. В то же время габаритный пролёт между металлическими опорами может быть в 1,5-2 раза увеличен.

Долговечность. Многогранные опоры имеют более долгий жизненный цикл и срок эксплуатации не менее 50 лет [4].

Подтвержден срок службы многогранных опор до 75 лет, что в два раза выше, чем у железобетонных. Долговечность может быть повышена за счёт нанесения полимерных покрытий в заводских условиях.

Техническими условиями для ММО установлен 50-летний гарантийный срок. Это существенно больше, чем гарантированные сроки службы бетонных (25 лет) и решетчатых (40 лет) опор. Кроме того, отмечаются и такие положительные моменты, как эстетичность, простота утилизации, малый землеотвод, простота обслуживания и др. Однако в современных условиях заказчика в первую очередь интересует сравнительная стоимость строительства ВЛ на традиционных и многогранных опорах.

Капитальные затраты на сооружение 1 км линий электропередачи на базе многогранных опор на 25-50 % ниже, чем при использовании железобетонных и решётчатых опор. При этом эффект выше при сооружении ЛЭП в отдалённых или сложных регионах. Эксплуатационные затраты, вследствие высокой надёжности многогранных опор, снижаются на 30-50 %.

Применение многогранных опор способно повысить надежность линий электропередачи и снизить на 30-50 % затраты на эксплуатацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. http://agroportal.su/?p=37.
2. http: //www. eprussia.ru /epr/68/4581. htm.
3. http://www.europrofil.org/bearing. htm.
4. http://www.stroygorhoz.ru/85/67. php.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВОЗДУШНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-10 КВ

Шевченко Н.Ю. – доцент
Камышинского технологического института (филиал)
Волгоградского государственного технического университета

В городских электрических сетях для передачи электрической энергии часто применяют воздушные линии. Бесперебойность электроснабжения потребителей в значительной мере определяется надежностью работы ВЛ 6-10 кВ. Сегодня многие подстанции вообще не оснащены устройствами определения поврежденной линии и имеют лишь общеподстанционное устройство, срабатывающее на сигнал при появлении «земли» в сети 6-35 кВ. В этом случае для определения поврежденной линии оперативный персонал производит поочередное отключение всех отходящих линий, что приводит к излишнему износу коммутационной аппаратуры и нарушению электроснабжения потребителей,

подключенных к неповрежденным линиям, а в ряде случаев требует привлечения оперативного персонала наиболее ответственных потребителей. Одним из основных путей повышения степени надежности работы распределительных воздушных электрических сетей 6-10 кВ является их автоматизация. Традиционно автоматизация электрической сети выполняется с помощью выключателей, устанавливаемых в петлевых и кольцевых сетях в точке токораздела, для чего могут использоваться пункты секционирования, комплектные распределительные ячейки К-112 и другие [2].

Для этой же цели могут быть применены выключатели-реклоузеры, которые устанавливаются на опоре совместно с устройствами современной релейной защиты и автоматики. Выпуск вакуумных реклоузеров серии PBA/TEL освоила фирма «Таврида Электрик» [1].

Вакуумный реклоузер PBA/TEL-10-16/630 У1 может применяться в воздушных электрических сетях трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, номинальным напряжением 6-10 кВ в качестве: фидера на питающей подстанции; автоматического пункта секционирования сети с односторонним питанием; автоматического пункта секционирования сети с двухсторонним питанием (в том числе сетевого резервирования – АВР); защитного аппарата на ответвлении сети.

Внешний вид коммутационного модуля и расположение основных устройств представлены на рис. 1.

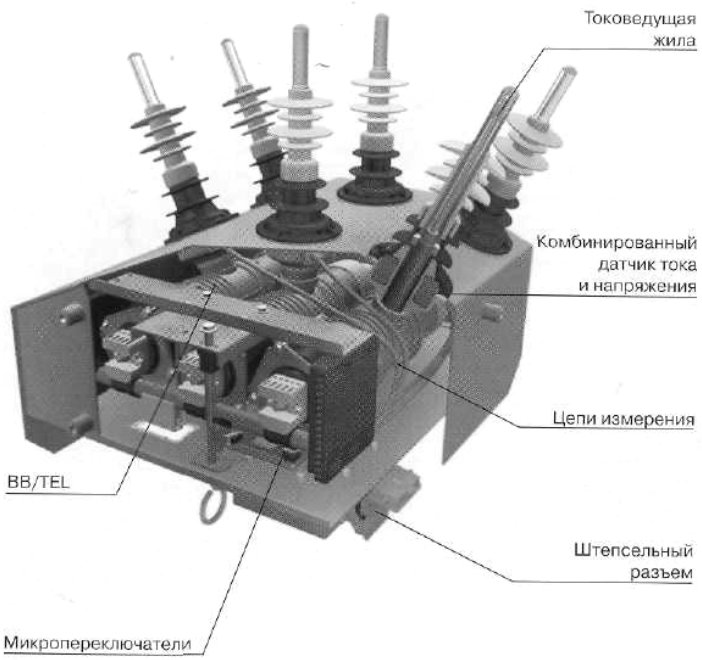


Рис. 1. Коммутационный модуль – вид сверху

Реклоузел вакуумный серии PBA/TEL выполняет следующие основные функции: оперативные переключения в распределительной сети (местная и дистанционная реконфигурация сети); автоматическое отключение поврежденного участка; автоматическое выделение поврежденного участка; автоматическое

поврежденное включение линии (АПВ); автоматическое восстановление питания на неповрежденном участке сети (АВР); автоматический сбор информации о параметрах режимов работы электрической сети; интеграция в системе телемеханики (SCADA).

В состав реклоузера входят коммутационный модуль, шкаф управления и соединительный кабель. Принципиальная электрическая схема включения РВА/TEL в линию электропередач представлена на рис. 2.

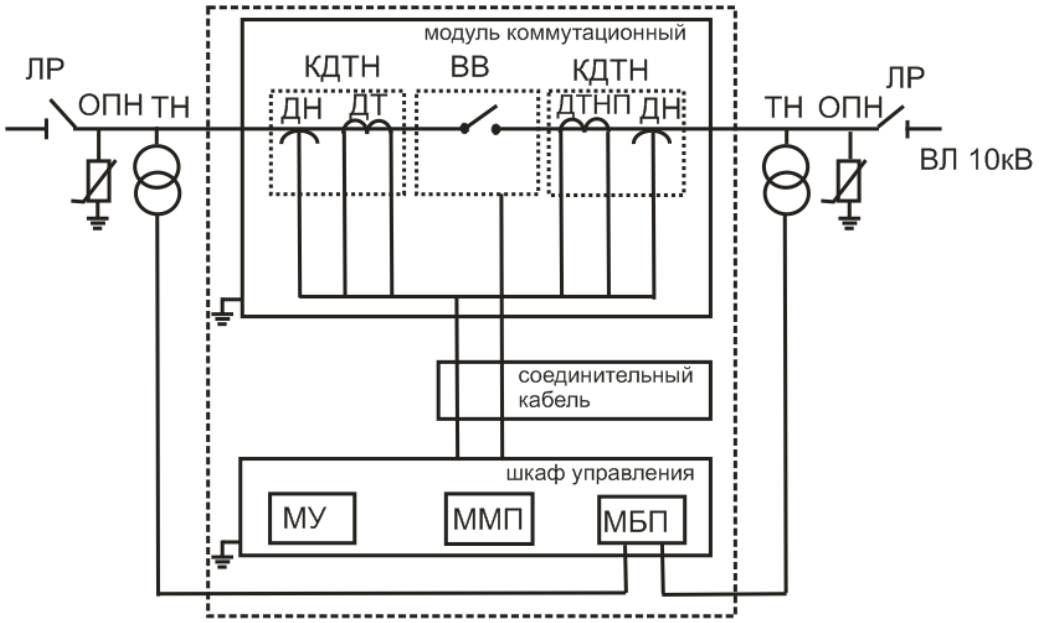


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема включения РВА/TEL в ЛЭП:

ДН – датчик напряжения; ДТ – датчик тока; ДТНП – датчик тока нулевой последовательности; КДТН – комбинированный датчик тока и напряжения; ВВ – вакуумный выключатель; МУ – модуль управления; ММП – модуль микропроцессора; МБП – модуль бесперебойного питания; ОПН – ограничитель перенапряжения; ТН – трансформатор напряжения; ЛР – линейный разъединитель; ВЛ – воздушная линия

Коммутационный модуль состоит из вакуумного выключателя и высоковольтных проходных изоляторов со встроенной системой измерения (комбинированные датчики тока и напряжения). Всего в состав коммутационного модуля входят шесть датчиков напряжения, три датчика фазных токов (со стороны АВС) и один датчик тока нулевой последовательности, образованный соединением трех датчиков тока в разомкнутый треугольник.

Шкаф управления выполняет следующие основные функции: управление коммутационным модулем; релейная защита и автоматика; индикация и измерение; сбор и обработка информации.

Основными элементами шкафа управления являются модуль микропроцессора, модуль управления и модуль бесперебойного питания. В качестве источника бесперебойного питания в шкафу используется герметичная свинцово-кислотная аккумуляторная батарея.

В памяти PBA/TEL может храниться до четырех независимых групп уставок. Каждая отдельная группа представляет из себя набор настроек всех видов защит и автоматики, запрограммированных в модуле микропроцессора шкафа управления PBA/TEL.

В каждом наборе уставок могут быть использованы следующие виды защит и автоматики: трехступенчатая направленная или ненаправленная токовая защита от междуфазных коротких замыканий; направленная или ненаправленная защита от замыканий на землю; защита минимального напряжения; автоматическое повторное включение; автоматический ввод резервного питания; автоматическая частотная разгрузка.

Дополнительно функциональность PBA/TEL позволяет осуществлять: отстройку от бросков токов намагничивания обмоток трансформаторов и пусковых токов двигателей; отстройку при включении на «холодную нагрузку»; ввод режима «работа на линии»; координацию последовательности зон в циклах АПВ.

Реклоузел вакуумный серии PBA/TEL может работать в двух режимах управления и обмена данными: местный (с панели управления шкафа управления или с использованием персонального компьютера) и дистанционный (с использованием дискретных входов / выходов).

Панель управления представляет собой кнопочный пульт управления с жидкокристаллическим экраном. С панели управления можно осуществить включение или отключение PBA/TEL, ввод или вывод защит и автоматики, выбор активной группы уставок, перевод режима управления в местный или дистанционный.

На панель управления выведено меню, с помощью которого можно произвести настройку защит и автоматики, считать информацию о текущем состоянии PBA/TEL, просмотреть данные журнала включений и отключений, считать показания счетчиков.

Система диагностики и индикации PBA/TEL состоит из:

− элемента диагностики и индикации (осуществляет диагностику внутренних модулей шкафа управления и внутренних соединений. При обнаружении неисправности элемент выдает сигнал индикации);

− элемент регистрации (осуществляет регистрацию сигналов индикации, получаемых от элемента диагностики. Полная информация собирается в журналах оперативных и аварийных событий);

− счетчики (счетчики оперативных переключений измеряют суммарное число операций, счетчик аварий регистрирует аварийное отключение PBA от защит).

Для работы с PBA/TEL было разработано специальное программное обеспечение TELUS, которое позволяет: управлять реклоузером; изменять основные настройки аппарата; изменять уставки защит; выбирать активную группу уставок; вводить защиты; анализировать базу данных оперативных журналов. Для интеграции в системы телемеханики в шкафу управления предусмотрены коммуникационные интерфейсы, поддерживающие стандартные протоколы передачи данных.

Для защиты реклоузера от грозовых перенапряжений рекомендуется устанавливать ограничители перенапряжения. В качестве источника оперативного напряжения предусматривается установка одного или двух трансформаторов напряжения мощностью не менее 250 В·А. Для обеспечения видимого разрыва в линии допускается установка одного или двух линейных разъединителей.

Вывод. Применение реклоузера серии РВА/ TEL позволит:

– повысить надежность электроснабжения потребителей;

– снизить недоотпуск электроэнергии;

– уменьшить число аварийных отключений линий электропередач;

– снизить риск развития аварий из-за неправильного действия оперативного персонала;

– реализовать современные принципы автоматизации и управления распределительными сетями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РК «Таврида Электрик». Техническое описание РВА/TEL. Реклоузер вакуумный. Изменение № 2, 2005. – С. 35.

2. *Ополева Г.Н.* Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. – 480 с.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Шилин А.Н. – д-р техн. наук, профессор
Волгоградского государственного технического университета
Карпенко О.И. – ст. преподаватель
Камышинского технологического института (филиал)
Волгоградского государственного технического университета

Современные системы электроснабжения являются частью электроэнергетических систем, которые отличаются от других технических систем не только большими размерами, но и сложным характером взаимосвязей между отдельными элементами и внешней средой, а также между объектами производства и потребления энергии. Системы электроснабжения имеют те же особенности, что и электроэнергетические системы. Одной из основных характеристик системы является надежность, определяющая экономическую эффективность функционирования системы.

Надежность системы электроснабжения можно определить как способность этой системы и ее отдельных элементов обеспечивать бесперебойное питание электроэнергией промышленное предприятие, не приводящее к срыву производства и к авариям в электрической и технологической частях. Она характеризуется повреждаемостью оборудования, ожидаемой продолжительностью бесперебойной работы, длительностью перерыва питания электроэнергией, а также ущербом от перерыва питания и другими факторами [1]. Повреждаемость системы

электроснабжения слагается из повреждаемости электрооборудования из-за нарушения правильной эксплуатации; некачественной ревизии и профилактики; ошибочных действий персонала; неблагоприятных условий окружающей среды и др. Большое значение для обеспечения бесперебойного питания и успешной ликвидации аварии имеет правильная эксплуатация электрохозяйства промышленных предприятий.

Одной из главных проблем в системах электроснабжения является обеспечение оптимальной надежности этих систем, при которой приведенные ежегодные затраты, включая ущерб от перерывов электропитания, будут минимальны.

Явная сложность математического аппарата, включающего разделы физического старения вещества, теории вероятностей, математической статистики, интегрального исчисления, вариационные методы, теорию случайных процессов, методов линейного и нелинейного программирования, планирования эксперимента, исследования операций пока не позволяет решать задачи надежности в их взаимодействии. Препятствием к комплексному решению задач надежности электроэнергетических систем является еще и их существенное отличие от других технических систем, огромное число элементов и их состояний, пренебрежение частью которых (с целью упрощения расчетов) выхолащивает решение поставленных задач. Поэтому задачи надежности систем электроснабжения до сих пор решаются методом декомпозиции, когда задачи резервирования, оптимальных профилактик и перегрузочной способности электрооборудования решаются по отдельности, иногда и с не вполне обоснованными допущениями. Однако теория надежности технических систем является быстро и динамично развивающейся областью знаний человечества.

Практические результаты теории надежности электроэнергетических систем получены лишь в последние десятилетия. Наиболее развитым является раздел теории надежности, посвященный анализу резервирования систем электроснабжения, анализу задач структурной надежности систем при заданных параметрах надежности отдельных элементов. В этой области знаний на сегодняшний день существует уже несколько инженерных методов расчета, в том числе и ориентированных на использование ЭВМ [1]. Они не требуют глубоких знаний теории вероятностей и ориентированы на профессиональное понимание логики функционирования систем электроснабжения, взаимосвязей основных функций системы с состояниями ее отдельных элементов. Причем, открывающаяся в этой связи логика взаимодействия элементов систем иногда меняет сложившиеся, традиционные представления об оптимальном построении структуры системы, составе ее элементов и даже их основных функциях.

Не следует беспредельно добиваться повышения надежности систем электроснабжения. Так, например, усложнение системы за счет введения многократного резервирования приводит лишь к относительно небольшому снижению времени аварийного простоя, причем незначительный рост надежности обычно связан с весьма существенными затратами. Следовательно, не всегда более дорогостоящая система электроснабжения обладает более высокой надежностью.

В настоящее время электрооборудование большей части промышленных предприятий выработало свой нормативный ресурс, и, как следствие, увеличивается количество отказов и отключений. Каждый отказ, как правило, приводит к ущербу из-за недоотпуска либо порчи выпускаемой (продаваемой) продукции, простоям производственных мощностей и т.п. Для обеспечения надежного и бесперебойного электроснабжения необходимо модернизировать и реконструировать системы электроснабжения промышленных предприятий, значительно больше внимания уделять вопросам экономии электроэнергии и других видов энергоносителей. При этом необходимо отметить, что отдельные энергосберегающие мероприятия окупаются в срок от 5 до 7 лет, но есть и такие, у которых нет явно выраженного экономического эффекта, но которые направлены на обеспечение устойчивой работы электрооборудования [4].

Основные пути повышения надежности можно свести к следующему.

1. Рациональное резервирование:

– в цеховых сетях по высокому (ВН) или низкому (НН) напряжению в трансформаторных подстанциях;

– за счет раздельной или параллельной работы линий, трансформаторов в зависимости от условий и требований;

– за счет выбора числа независимых источников питания с учетом категории потребителей.

2. Использование перегрузочной способности элементов системы электроснабжения, что обеспечивает надежное питание потребителей при эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий. Режимы перегрузки особенно важны при повреждениях или отключениях линий, трансформаторов, секций шин, отдельных аппаратов. Исследования, проведенные различными организациями, по допустимой перегрузке электрооборудования показали следующее [2]:

– кратковременная (до 2-2,5 ч) перегрузочная способность выключателей может быть принята равной 125 % номинальной;

– для выключателей нагрузки допустимы такие же перегрузки, как для силовых масляных и сухих трансформаторов;

– для проходных изоляторов, работающих в диапазоне температур от –50 до +60 °С, допустимая перегрузка составляет (0,85-1,73)$I_{НОМ}$;

– перегрузка воздушных линий возможна практически всегда при сохранении нормального габарита до земли и составляет 30-35 %;

– допустимая перегрузка кабельных линий напряжением до 10 кВ зависит от значения и длительности максимума нагрузки линии в нормальном режиме и от способа их прокладки. Допустимую перегрузку кабельных линий, находящихся в эксплуатации более 15 лет, принимают на 10 % ниже.

3. Совершенствование технического обслуживания: оптимизация периодичности и глубины капитальных ремонтов, снижение продолжительности аварийных ремонтов.

4. Повышение качества ремонта оборудования, что увеличивает межремонтные сроки, снижает затраты труда и материальных средств. Такой ремонт должен производиться квалифицированным персоналом, хорошо знающим конструкцию оборудования, современную технологию ремонта, а также обладающим высокой профессиональной подготовкой и практическими навыками.

5. Применение, правильный выбор и компоновка современного оборудования. Выбранное оборудование должно быть устойчиво к действиям токов КЗ. Что касается компоновки, то при особенно высоких требованиях к надежности электроснабжения секции РУ располагают в разных помещениях.

6. Внедрение автоматизации и телемеханизации, что позволяет повысить еще и безопасность обслуживания, эффективность управления объектами электроснабжения и избежать ошибочных действий персонала.

7. Повышение надежности релейной защиты и автоматики за счет применения микропроцессорной элементной базы, правильной эксплуатации и технического обслуживания.

Опыт эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий показал, что возможности повышения надежности функционирования находящихся в эксплуатации аналоговых устройств РЗА исчерпаны. Применение микропроцессорных устройств и систем РЗА открывает широкие возможности качественного повышения надежности их функционирования. Опыт эксплуатации микропроцессорных устройств РЗА за рубежом показал, что эти устройства имеют равные или лучшие показатели надежности и значительно меньшие трудозатраты на техобслуживание по сравнению с традиционными системами.

При применении микропроцессорных устройств РЗА в системах электроснабжения наравне с релейно-контактными устройствами особое внимание необходимо обращать на готовность этой системы по обеспечению электромагнитной совместимости.

При применении интегральной и цифровой защит необходимо строго выполнять указания по ее эксплуатации. Так, например, если не применять специальных мер (экранирование и пр.), то возникающие по разным причинам помехи могут вызвать ложное срабатывание защиты.

8. Выбор наиболее целесообразного времени вывода оборудования в ремонт, а именно совмещение ППР электрооборудования с ППР технологического оборудования, заблаговременный перевод электроснабжения на временное питание от резервных источников и др. Например, плановый ремонт одного из двух трансформаторов двухтрансформаторной ТП целесообразнее проводить в период работы со сниженной нагрузкой потребителя.

9. Уменьшение числа трансформаций, где это возможно, и в первую очередь трансформаций 10/6 кВ, что повышает также экономичность системы электроснабжения за счет уменьшения потерь электроэнергии.

10. Применение самозапуска ответственных двигателей. Самозапуск необходим для обеспечения устойчивости технологических процессов непрерывных производств при КЗ, отключениях выключателя в цепи питания узла

нагрузки и т.д. Самозапуск возникает после кратковременного перерыва и автоматического восстановления электроснабжения. Двигатели, участвующие в самозапуске, при кратковременных перерывах электроснабжения от сети не отключаются.

11. Обеспечение пожарной безопасности электротехнических сооружений (подстанций, кабельных туннелей и др.), внедрение устройств телесигнализации и локализации пожаров.

12. Использование гарантированных источников питания (дизель-генераторов, аккумуляторных батарей и т.п.).

13. Внедрение ремонтов под напряжением [1].

14. Снижение насыщения сетей автоматической коммутационной аппаратурой, так как сами аппараты могут быть источником аварий.

15. Компенсация реактивной мощности (КРМ). За счет КРМ по НН можно разгрузить цеховой трансформатор ТП и при росте нагрузки загрузить его дополнительно активной мощностью.

16. Повышение статической и динамической устойчивости системы электроснабжения. Наиболее приемлемым средством достижения этой цели является уменьшение времени действия устройств РЗА.

17. Повышение качества электроэнергии. Снижения несимметрии напряжений можно достичь, как показывает опыт эксплуатации систем электроснабжения, в основном двумя путями [3]:

– рациональным пофазным распределением однофазных нагрузок;

– применением симметрирующих устройств.

Для снижения несинусоидальности напряжений (уменьшения высших гармоник) применяют следующие средства:

– раздельное питание приемников с нелинейной вольт-амперной характеристикой и обычных общепромышленных приемников, которое осуществляют от разных секций шин подстанций;

– увеличение числа фаз выпрямления; так, при переходе от 6-фазной схемы к 12-фазной схеме выпрямления несинусоидальность напряжений сети уменьшается примерно в 1,4 раза;

– фильтры высших гармоник, которые одновременно являются и источниками реактивной мощности, то есть могут использоваться для КРМ.

18. Совершенствование конструкций и материалов, из которых изготовляют электрооборудование для систем электроснабжения.

19. Повышение качества и уровня эксплуатации электрооборудования (правильное применение смазочных материалов, своевременная чистка светильников, правильная замена изношенных деталей и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фокин Ю.А.* Надежность и эффективность сетей электрических систем. – М.: Высшая школа, 1989. – 151 с.

2. *Конюхова Е.А.*, *Киреева Э.А.* Надежность электроснабжения промышленных предприятий. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2001. – 92 с.

3. *Гуревич Ю.Е.*, *Кабиков К.В.*, *Кучеров Ю.Н.* Неотложные задачи надежности электроснабжения промышленных потребителей // Электричество, 2005, № 1. – С. 2-10.

4. *Осотов В.Н.* Совершенствование системы сервисного обслуживания для повышения надежности электроснабжения // Энергетик, 2007, № 2. – С. 6-8.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ В ПРИМЕНЕНИИ ВАКУУМНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Хавроничев С.В. – доцент
Камышинского технологического института (филиал)
Волгоградского государственного технического университета
Рыбкина И.Ю. – студентка
Камышинского технологического института (филиал)
Волгоградского государственного технического университета

Замечательные характеристики вакуума привели к необычайной гибкости конструкций вакуумной коммутационной техники. Традиционная конструкция вакуумного выключателя представлена на рисунке. Компактность изделий позволила размещать по два выключателя в тех же габаритах ячеек КРУ, в каких раньше размещался один выключатель, что особенно важно в коммерческих зданиях, где стоимость площади очень высока.

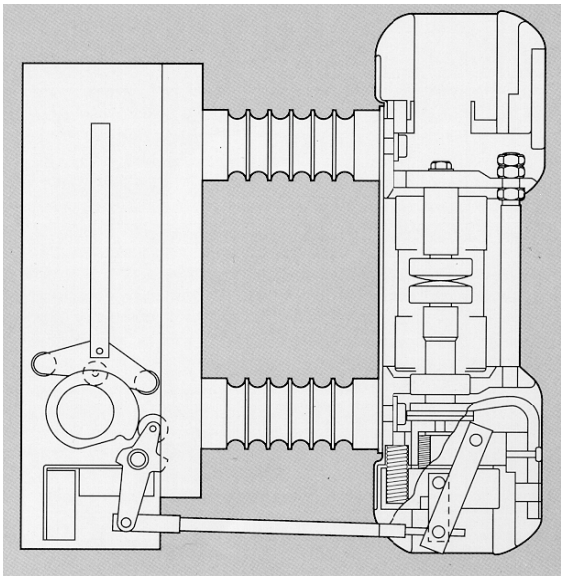


Рис. Традиционная конструкция вакуумного выключателя

Применение вакуумной техники особенно оправдано для условий работы с частыми коммутациями рабочих токов, например: для коммутации конденсаторных батарей и реакторов, компенсирующих коэффициент мощности сетей при изменении нагрузки; для коммутации промышленных дуговых печей, где присутствуют не только частые коммутации, но и довольно большой коммутируемый ток; для пусков и переключений электродвигателей мощностью от десятков до тысяч киловатт.

В настоящее время вакуумные выключатели стали доминирующими аппаратами для электрических сетей с напряжением 6-36 кВ. Так, доля вакуумных выключателей в общем количестве выпускаемых аппаратов в Европе и США достигает 70 %, в Японии – 100 %. В России в последние годы эта доля имеет постоянную тенденцию к росту, и в 1997 году превысила 50 %-ю отметку.

Основными преимуществами вакуумных выключателей (по сравнению с масляными и газовыми выключателями), определяющими рост их доли на рынке, являются:

– высокий коммутационный и механический ресурс;

– отсутствие необходимости в проведении текущего, среднего и капитального ремонтов;

– питание от сети постоянного, выпрямленного и переменного оперативного тока в широком диапазоне напряжений;

– малое потребление мощности по цепи оперативного питания;

– высокое быстродействие при включении и отключении;

– возможность отключения при потере оперативного питания;

– не требуется изменения существующих схем вторичной коммутации;

– совместимость с любыми существующими типами ячеек КРУ и КСО;

– допускается работа в любом пространственном положении;

– малые габариты и вес.

Сегодня вакуумную коммутационную технику можно считать достаточно «взрослой», которая может применяться для уровня токов короткого замыкания вплоть до 100 кА, так что в последние годы усилия разработчиков направлены не на повышение основных параметров вакуумного выключателя, а на создание более экономичных конструкций и повышение их надежности.

По первому направлению работа идет в основном по пути совершенствования конструкции и технологии производства вакуумных дугогасительных камер, составляющих 30-40 % стоимости вакуумного выключателя. В области приводов традиционного типа (преимущественно пружинно-моторных) возможности разработки, с точки зрения снижения производственных затрат, практически исчерпаны.

Второе направление – повышение надежности вакуумного выключателя, в основном связано с повышением надежности их приводов, так как надежность вакуумных дугогасительных камер при современной технологии производства практически безупречна (декларируемая наработка на отказ вакуумной дугогасительной камеры лучших производителей составляет 2000 лет).

В 90-х годах ряд фирм представили конструкции приводов, не требующих обслуживания в течение всего срока эксплуатации.

Вместе с тем очевидно, что при сохранении традиционных подходов к проектированию вакуумного выключателя существенного прогресса в области снижения производственных затрат (которые, разумеется, влияют и на цену вакуумного выключателя на рынке) и повышения надежности приводов ожидать не приходится.

Очевидно, для прогресса конструкций вакуумных выключателей необходимо искать новые технологические и конструктивные возможности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Е.Ф. Макаров.* Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ. Т. 5 – М.: Папирус Про, 2005. – 624 с.

2. Опыт эксплуатации вакуумных выключателей ОАО «Северсталь», журнал «Электрика», № 4, 2002.

АНАЛИЗ ВСХОЖЕСТИ СЕМЯН ФАСОЛИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НИХ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Хавроничев С.В. – доцент
Камышинского технологического института (филиал)
Волгоградского государственного технического университета
Костин М.Н. – студент
Камышинского технологического института (филиал)
Волгоградского государственного технического университета

Современное сельскохозяйственное производство предъявляет к сортам растений все более высокие требования. Хороший сорт должен давать стабильный, устойчивый урожай, быть засухоустойчивым, переносить низкие температуры, не поддаваться воздействию различных болезней. Повысить качество и полевую всхожесть семян можно приёмами их предпосевной обработки физическими, химическими и другими методами [1].

В исследовательской работе использован провокационный лабораторный метод, с помощью которого искусственно воссозданы условия для выявления отношения растения к неблагоприятному фактору – электрическое поле высокого напряжения. Достоинство этого метода в том, что он позволяет в нужных пределах дозировать неблагоприятное воздействие на растение и проследить за дальнейшим развитием растения.

В процессе эксперимента по влиянию электростатического поля на всхожесть семян фасоли использовался аппарат испытания диэлектриков АИД-70М. Семена, подлежащие обработке, в количестве 5 штук помещались между двумя металлическими пластинами, присоединенными к высоковольтному и заземленному выводам установки. В качестве диэлектрика использовался воздушный промежуток между пластинами. Таким образом, семена оказывались под воздействием однородного электрического поля плоского конденсатора.

Исследуемые выборки семян подвергались воздействию электрического поля, создаваемого путем подачи на электроды напряжения 5, 10 и 15 кВ, постоянного и переменного тока. В течение нескольких секунд напряжение поднималось до установившегося значения, после чего воздействие продолжалось в течение 5, 10 и 15 секунд для каждого значения напряжения. После этого семена были высажены в цветочные горшки. Для исследования изменения

всхожести и роста семян после воздействия электрического поля в одном из горшков были высажены семена, не подвергавшиеся обработке.

Анализ всхожести производился на основании результатов осмотра ростков фасоли на 1, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27 и 29 дни после посева семян.

Анализ полученных результатов показал, что наилучшие результаты были достигнуты при обработке семян в электрическом поле напряжением 15 кВ постоянного тока в течение 15-ти секунд.

Сравнительные данные необработанных и обработанных семян приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Наблюдение за всхожестью и энергией прорастания необработанных семян фасоли

День	Кол-во всходов, шт.	Рост*, мм	День	Кол-во всходов, шт.	Рост*, мм
1			17	2	385, 250
5			19	2	455, 315
7	1	20	21	2	510, 380
9	2	150, 50	23	2	585, 455
11	2	200, 150	25	2	630, 505
13	2	270, 180	27	2	685, 515
15	2	330, 210	29	2	750, 585

*Примечание: рост фасоли в таблице указан в порядке прорастания семян.

Таблица 2

Наблюдение за всхожестью и энергией прорастания семян фасоли, обработанных в электрическом поле напряжением 15 кВ постоянного тока в течение 15-ти секунд

День	Кол-во всходов, шт.	Рост*, мм	День	Кол-во всходов, шт.	Рост*, мм
1			17	5	360, 340, 260, 235, 85
5			19	5	420, 390, 300, 270, 95
7	3	50, 30, 25	21	5	505, 420, 340, 310, 100
9	4	140, 120, 100, 50	23	5	610, 460, 380, 350, 115
11	5	220, 210, 155, 150, 20	25	5	700, 515, 410, 400, 125
13	5	280, 270, 200, 185, 40	27	5	750, 580, 480, 450, 140
15	5	320, 300, 220, 210, 60	29	5	770, 650, 550, 520, 150

*Примечание: рост фасоли в таблице указан в порядке прорастания семян.

На основании проведенного эксперимента можно сделать вывод, что после облучения семян фасоли высоковольтным электрическим полем происходит активизация семян. Предполагается, что семена, вернее их компоненты, поглощают энергию, запасают ее впрок; потом она расходуется в процессе развития растения.

Добавочная энергия семян вызывает генетическое возрождение сорта, то есть повторное проявление его лучших особенностей, потерянных в процессе эволюции.

Полученные данные имеют практическое применение и значение для сельского хозяйства: при увеличении всхожести семян уменьшается норма высева, что дает экономию семян; при быстром прорастании семян начальные стадии развития растений проходят при большом запасе влаги в почве и при оптимальных температурах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ковалев В.М.* Новое в применяемых в сельском хозяйстве технологиях // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – М., № 3, 2001. – С. 8-11.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АККУМУЛЯТОРНЫХ И ЕМКОСТНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ КАК ЭЛЕМЕНТА ПИТАНИЯ УСТРОЙСТВ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Панасенко М.В. – канд. техн. наук, доцент
Камышинского технологического института (филиал)
Волгоградского государственного технического университета
Ахмедова О.О. – канд. техн. наук, доцент
Камышинского технологического института (филиал)
Волгоградского государственного технического университета
Угаров Г.Г. – д-р техн. наук, профессор
Саратовского государственного технического университета

Для бесперебойного питания устройств информационно-измерительных систем (УИИС) мониторинга воздушных линий электропередачи (ЛЭП) необходимо произвести выбор способа накопления электрической энергии в периоды, когда устройства отбора мощности от самой ВЛ или же источники, использующие независимую от ЛЭП энергию, не могут обеспечить требуемые электроэнергетические величины УИИС. Наиболее распространенными на настоящий момент накопителями электрической энергии являются аккумуляторные батареи. Однако развитие научно-технического процесса позволило производить промышленные образцы конденсаторов большой емкости с малыми показателями саморазряда. Использование конденсаторов аномальной емкости позволяет сохранять заряженную энергию длительное время и, следовательно, использовать их как накопители электрической энергии. Поскольку вопрос использования конденсаторов мало рассмотрен, данная публикация посвящена сравнительному анализу применимости суперкондесаторов и аккумуляторных батарей для питания УИИС мониторинга воздушных ЛЭП.

Электрический аккумулятор является химическим источником тока (гальваническим элементом), применяемым для получения электрической энергии, которая производится в нем за счет окислительных и восстановительных

химических реакций. Аккумуляторные батареи (АКБ) делятся на кислотные (свинцовые) и щелочные (кадмиево-никелевые, железо-никелевые, серебряно-никелевые, серебряно-кадмиевые и др.).

Аккумуляторные батареи позволяют накапливать электрическую энергию и сохранять её длительное время (до нескольких суток), при этом основным показателем способности накапливать электрическую энергию является емкость батареи, которая определяется из выражения

$$C = I_p T, \tag{1}$$

где C – емкость батареи (А·ч); I_p – разрядный ток аккумуляторной батареи (А); T – время разряда (ч).

Выразим формулу (1) через мощность потребителя, заменяя рабочий ток I_p выражением $\frac{P}{U}$, тогда получаем

$$C = \frac{P}{U} T, \tag{2}$$

где P – мощность потребителя запасаемой энергии батареи (Вт); U – номинальное напряжение аккумулятора (В).

По формуле (2) при заданных значениях мощности P = 100 Вт, номинального напряжения аккумулятора U = 12 В и времени разряда на нагрузку T = 24 часа, получаем, что необходимая емкость батареи, без учета потерь в аккумуляторе на саморазряд, равна 200 А·ч.

Емкостные накопители электроэнергии основаны на способности конденсаторов накапливать её и сохранять определенное время. По сути, такое применение основано на использовании затяжного переходного процесса, связанного с разрядом конденсатора на некоторое сопротивление. Для иллюстрации этого процесса принимаем, что нагрузка активная сопротивлением R, конденсатор заряжен до какого то напряжения u_{max}. Тогда процесс изменения напряжения на конденсаторе $u_c(t)$ можно описать следующим выражением

$$u_c(t) = u_{\max} e^{-\frac{1}{CR}t}, \tag{3}$$

где $u_{\max}$ – напряжение заряженного конденсатора, В; C – емкость конденсатора, Ф.

Для перехода к мощности нагрузки заменяем в формуле (3) сопротивление R на некоторое активное эквивалентное сопротивление и записываем выражение в следующей форме:

$$u_c(t) = u_{\max} e^{-\frac{P}{U_{cp} R}t}, \tag{4}$$

где P – мощность нагрузки потребителя, Вт; U_{cp} – среднее напряжение процесса разряда конденсатора, определяемое как среднеарифметическое напряжение по выражению $\frac{u_{\max} + u_{\min}}{2}$, В.

Электрическая схема и характеристики изменения напряжения на заряженном до 14 В конденсаторе при различной мощности потребителя (от 20 до 100 Вт) и емкости конденсатора 10 кФ представлены на рис. 1.

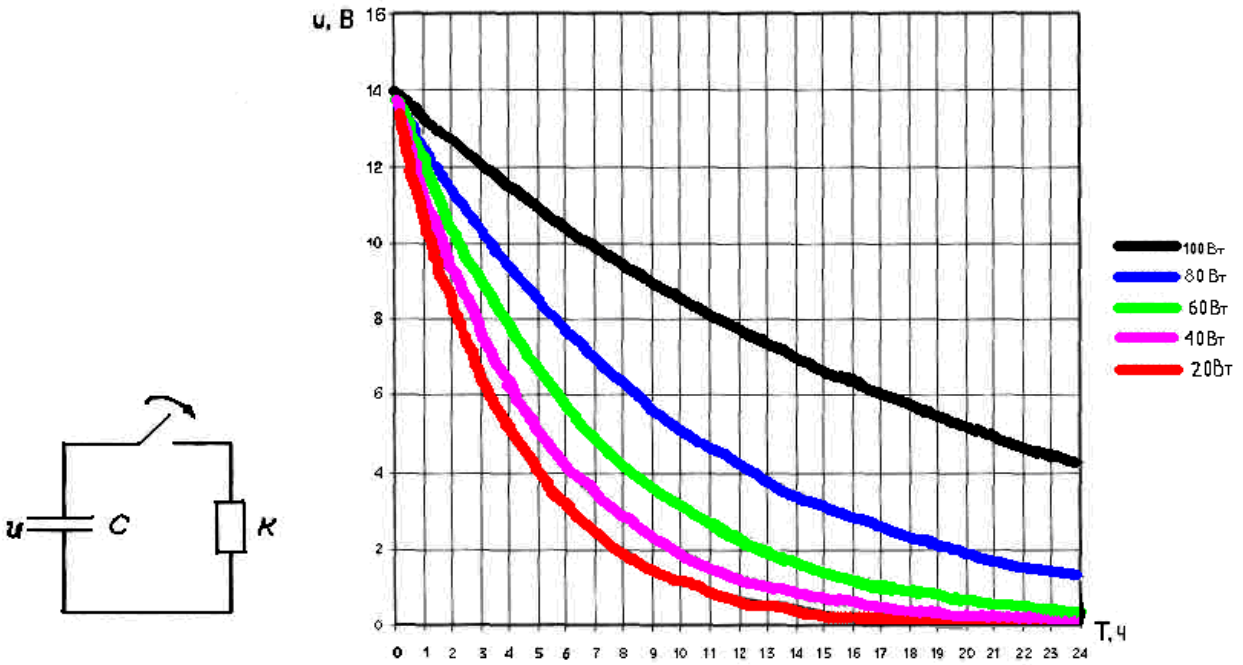


Рис. 1. Электрическая схема и характеристики переходного процесса разряда конденсатора большой емкости на активную нагрузку различной мощности

Из рис. 1 следует, что при емкости 10 кФ переходный процесс может продолжаться длительное время (до 24 часов), производя питание устройств.

Основной проблемой является огромная емкость конденсаторов, хотя использование конденсаторов большой мощности как накопителей электроэнергии предлагалось давно, но технических решений такого применения не было из-за недостаточности величины емкости при малых массогабаритных показателях. На сегодняшний день достижения в науки и технике позволили решить задачу увеличения емкости конденсаторов до величины 1 и более МФ. Такая емкость позволяет не только производить кратковременные «выбросы» энергии, но и сохранять её длительное время. Конденсаторы большой емкости, или суперконденсаторы, на настоящий момент нашли применение в автомобильной технике и позволяют производить пуск двигателей внутреннего сгорания, используя особенность конденсатора выдавать большие токи в короткие промежутки времени.

Исходя из сказанного, единственным вопросом является выбор емкости конденсатора в зависимости от времени использования емкостного накопителя и нагрузки потребителя. При выборе емкости необходимо учесть, что рабочий диапазон напряжений суперконденсаторов находится в пределах от 58 до 4 В. Для определения величины емкости конденсатора по заданному времени разряда *t*,

мощности активной нагрузки P, учитывая, что конденсатор разряжается от $U_{\max}$ до $U_{\min}$, преобразуем формулу (4) в следующий вид:

$$C = \frac{Pt}{U_{cp}^2 \ln\left(\frac{U_{\min}}{U_{\max}}\right)}. \qquad (5)$$

Тогда для конденсаторов с пределом изменения напряжения от 48 до 24 В, мощностью активной нагрузки от 20 до 100 Вт получаем зависимости для определения емкости конденсатора накопителя от времени разряда, которые представлены на рис. 2.

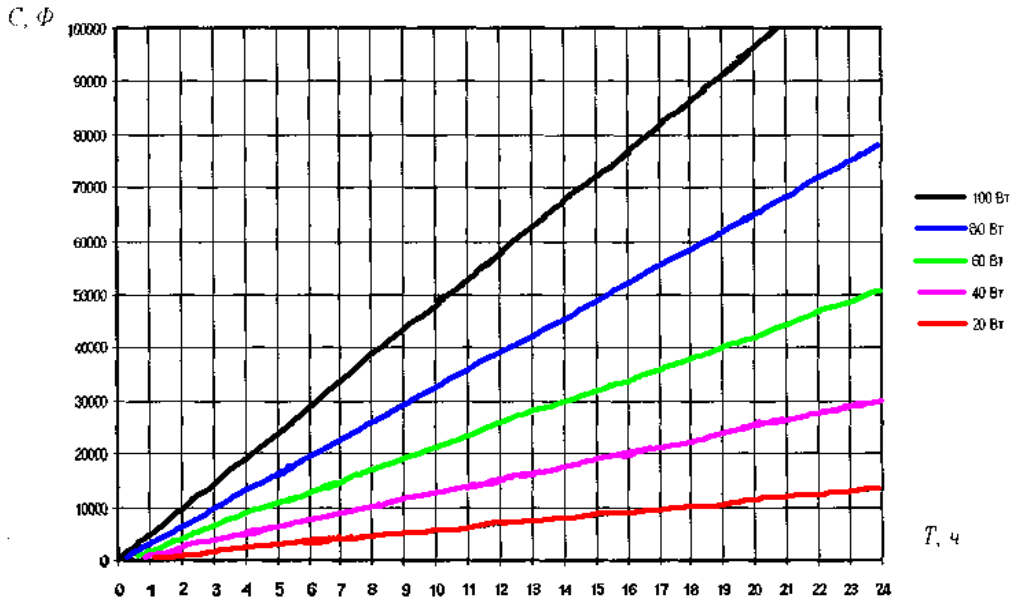


Рис. 2. Зависимости для выбора емкости конденсатора в зависимости от времени работы емкостного накопителя при различных активных мощностях нагрузки

Исходя из особенностей установки УИИС применение аккумуляторных батарей серьезно ограничено, так как большие массогабаритные показатели, а также необходимость эксплуатации АКБ и тесная зависимость зарядных характеристик от температуры окружающей среды снижают надежность данного применения. Поскольку система мониторинга должна обеспечивать надежную работу ЛЭП именно в зимнее время, когда температура воздуха достигает самых низких среднегодовых значений, применение аккумуляторных батарей сопряжено с рядом трудностей по обеспечению его работоспособности в этот период.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бессонов Л.А.* Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник. – 10-е изд. – М.: Гардарики, 2002. – 638 с: ил.

2. Электрическая часть станций и подстанций: учеб. для вузов / А.А. Васильев и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.: ил.

ОЗОНАТОРНЫЕ КАМЕРЫ И ПРИЧИНЫ, ПРИВОДЯЩИЕ К ИХ РАЗРУШЕНИЮ

Ахмедова О.О. – канд. техн. наук, доцент
Камышинского технологического института (филиал)
Волгоградского государственного технического университета
Панасенко М.В. – канд. техн. наук, доцент
Камышинского технологического института (филиал)
Волгоградского государственного технического университета
Сошинов А.Г. – канд. техн. наук, доцент
Камышинского технологического института (филиал)
Волгоградского государственного технического университета

В последние десятилетия за рубежом и в России проведены работы по совершенствованию озонаторного оборудования. Созданы озонаторные установки высокой производительности – высокочастотные озонаторы на основе барьерного разряда.

Известны два типа озонаторов с регулируемой производительностью: с регуляторами напряжения и преобразователями частоты. Достоинствами первых являются относительная простота и меньшая стоимость. Однако при питающей частоте f = 50 Гц они имеют малую производительность, что не позволяет реализовать прогрессивные технологические процессы с потребностью озона в десятки и сотни килограммов в час.

Более перспективны частотно-регулируемые озонаторы. Перевод питания озонатора с частоты 50 на 1 000 Гц позволяет увеличить производительность озона в 1,5-2 раза, снизить напряжение на генераторе озона с 16-18 до 8-10 кВ и тем самым повысить надежность и сократить затраты при эксплуатации установки. Особенности технологического процесса не позволяют использовать для озонаторов типовые преобразователи частоты. Перспективны источники импульсного электропитания на базе преобразователей частоты с резонансным инвертором напряжения.

Интенсивные научные и опытно-конструкторские работы в области тиристорных и транзисторных источников импульсного электропитания для генераторов озона позволили создать электрические схемы озонаторов с обменом реактивной энергией между генератором озона и электрическим фильтром источника импульсного электропитания.

Структуры электрических схем источников импульсного электропитания на базе резонансного инвертора напряжений представлены на рис. 1.

В озонаторе без обмена реактивной энергией (рис. 1, *а*) источник импульсного электропитания образован каскадным соединением выпрямителя VS1-VS6, электрического фильтра $L_ф$-$C_ф$, инвертора VS7-VS10 и высоковольтного трансформатора Тр. Поток энергии проходит только в одном направлении – от фильтра к генератору озона. Высоковольтный трансформатор Тр обеспечивает

на вторичной обмотке напряжение в несколько киловольт, необходимое для пробоя газосодержащего промежутка.

Электрическая схема источника импульсного электропитания с нерегулируемым обменом реактивной энергии приведена на рис. 1, *б*. Она дополнена мостом обратного тока на диодах VS11-VS14. Поток энергии при включенных тиристорах инвертора аналогичен источнику импульсного электропитания по схеме рис. 1, *а*. После выключения тиристоров через мост обратного тока энергия ёмкостных элементов генератора озона возвращается в $C_ф$.

Предложены схемы, где возможно регулирование обратного потока энергии в озонаторе. В первом варианте (рис. 1, *в*) это реализуется с помощью моста обратного тока на тиристорах (VS11-VS14), а во втором – с помощью симисторного преобразователя (рис. 1, *г*), в котором объединены функции инвертора и моста обратного тока.

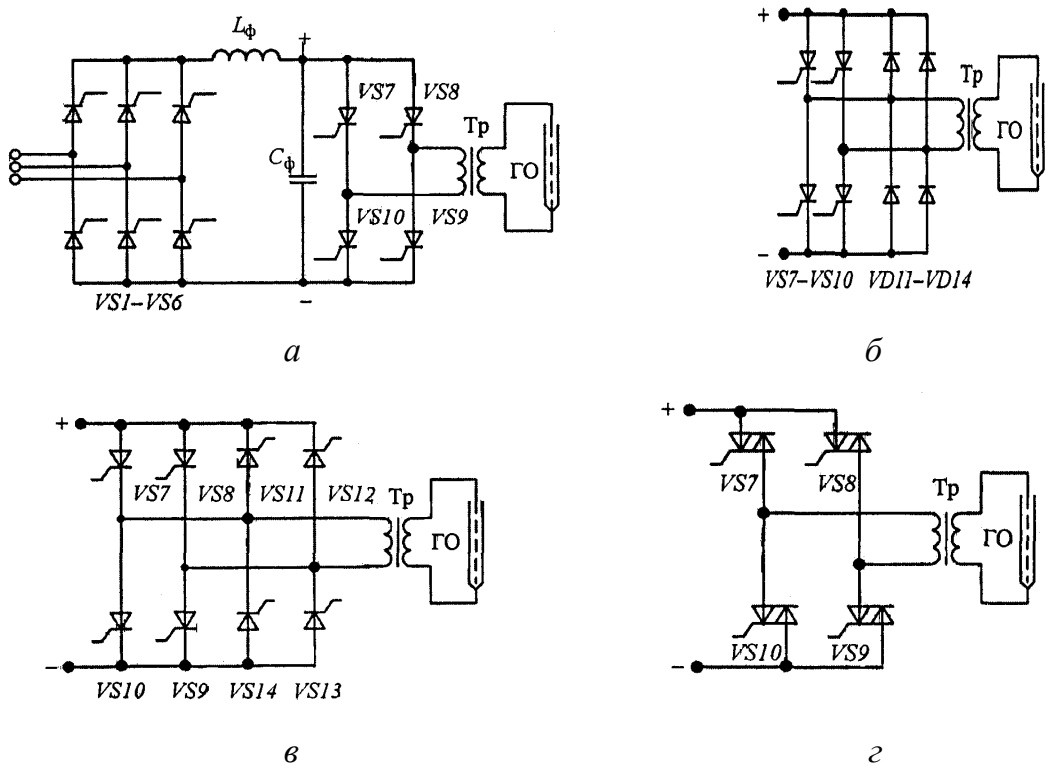


Рис. 1. Электрические схемы озонаторов на базе резонансного инвертора напряжений: *а* – без обмена; *б* – с нерегулируемым обменом; *в* – с помощью моста обратного тока на тиристорах (VS11-VS14); *г* – с помощью симисторного преобразователя

Результаты имитационного моделирования показали, что лучшие массогабаритные параметры имеет источник импульсного электропитания без обмена реактивной энергией, однако он должен иметь более сложную систему управления. Наибольшей устойчивостью, при сравнительно простой системе автоматического управления, характеризуется источник импульсного электропитания с нерегулируемым обменом реактивной энергией. Источник импульсного электропитания озонатора с регулируемым обменом позволяет улучшить показатели предыдущих

структур. Необходимо учитывать, что схемы без обмена и с регулируемым обменом реактивной энергией отличаются повышенными значениями напряжения на полупроводниковых приборах, поэтому их рационально применять при работе от низковольтной первичной электросети. Массогабаритные показатели источника импульсного электропитания с симисторным преобразователем сравнимы с показателями источника импульсного электропитания без обмена реактивной энергией.

Однако создание таких установок еще более обострило проблему ресурса: чаще стал выход из строя озонаторных камер. Так как озон является одним из сильнейших окислителей, то в озонаторной камере происходит интенсивный износ ее элементов. Как правило, первым из строя выходит диэлектрический барьер – наиболее уязвимый участок озонаторной камеры. Кроме воздействия озона, барьер испытывает разрушения, обусловленные как микроразрядами, так и непосредственно электрическим полем. Совместное воздействие этих факторов приводит к выходу из строя диэлектрического барьера, и в итоге – к короткому замыканию между электродами озонаторной камеры.

Одной из распространенных причин выхода из строя барьера является его неравномерный нагрев. В зоне разряда температура барьера достигает 80÷100 ºС, а на краях, необходимых для предотвращения перекрытия разрядного промежутка, температура не превышает 40 ºС. В результате возникают значительные термические и механические напряжения, способные вызвать механические разрушения. Естественно, после механического разрушения следует электрический пробой и, соответственно, выход озонатора из строя. Таким разрушениям подвержены барьеры, выполненные из стекла, стеклоэмали, керамики, то есть из хрупких материалов. Такая причина относительно легко устраняется, если выполнить барьер из материала, обеспечивающего высокую прочность и трещиностойкость в условиях резких температурных градиентов, свойственных рабочему режиму озонаторов (например: винипласт, стеклотекстолит, гетинакс и т.д.).

Другая и, надо отметить, основная причина разрушения барьера – нарушение однородности барьерного разряда. На фоне равномерного свечения можно визуально наблюдать отдельные узкие каналы. Они выделяются своей яркостью и неподвижны в пространстве. Такие обособленные канальные микроразряды длительно воздействуют локально на поверхность барьера, приводя его к разрушению. Можно предположить, что разрушение барьера аналогично эрозии изолятора от частичных разрядов. Первоначально происходит эрозия поверхности барьера под воздействием концентрированного разряда, образуя углубления. В дальнейшем эти впадины подвергаются процессу разрушения с возрастающей скоростью, пока глубина не достигнет критической отметки. Окончательный выход из строя барьера завершается электрическим пробоем.

Одной из причин, приводящей к локализации микроразрядов, может быть недостаточная компенсация электрического поля вблизи поверхности барьера зарядами от предыдущих микроразрядов. Недостаточность компенсации можно объяснить двумя факторами: увеличением напряженности электрического поля в разрядном промежутке и повышенной поверхностной проводимостью барьера.

Увеличение напряженности поля либо связано с большими отклонениями от соосности или параллельности элементов разрядной камер, либо с поверхностными искажениями поля, как барьера, так и металлических электродов. Искажения поля обусловлены различными причинами: наличием острых кромок, углов, заусенцев, отложениями различных загрязнений и т.д. А местное увеличение поверхностной проводимости барьера также связано с отложениями в виде токопроводящей пыли, капель различных жидкостей. На поверхности барьера образуются пятна с повышенной проводимостью. Такие пятна возникают как за счет влажности, загрязненности обрабатываемого газа, так и за счет продуктов, сопровождающих синтез озона. Указанные пятна обладают повышенной емкостью с электродом, который расположен по другую сторону барьера. В итоге с другого электрода на пятне происходит разряд. Чем больше площадь пятна и соответственно выше его емкость, тем интенсивней разряд. Место разряда локализуется расположением пятна на барьере. Происходит изменение формы разряда. Возможен переход от лавинно-стримерной формы разряда к искровой. Искровой микроразряд характеризуется более высокими значениями тока, температуры, повышенными поперечными размерами канала, а также низкими значениями падения напряжения на разрядном промежутке. Локализация микроразрядов в этом случае обусловливается опорными точками искры на электродах, а также плазменными следами в газовом промежутке от серии предыдущих искровых разрядов. Удалению следов плазмы из центральной части разрядного промежутка способствует принудительное движение газа. В областях, прилежащих к поверхности электродов, движение газа практически отсутствует, и плазменные следы только частично разрушаются за счет процессов диффузии и деионизации. Барьер при искровой форме разряда подвергается более интенсивному разрушению.

В связи с этим большое значение приобретает предварительная подготовка воздуха, включающая в себя очистку и осушку.

Проведенный анализ показывает многообразие причин, приводящих к нарушению однородности барьерного разряда, локализации микроразряда, и в итоге – к быстрому износу и разрушению диэлектрического барьера. Механизм разрушения барьера вследствие электрической эрозии и электрического пробоя говорит о том, что за счет материала барьера значительно продлить срок его службы невозможно. Необходимо искать другие пути решения для повышения ресурса работы озонаторных установок. Поэтому поиск других путей повышения ресурсов озонаторных работ является актуальным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пичугин Ю.Л.* Озон и другие экологически чистые окислители / Ю.Л. Пичугин // Наука и технологии. – 2003. № 6. – С. 22-26.

2. *Самойлович В.Г.* Физическая химия барьерного разряда / В.Г. Самойлович, В.И. Гибалов, К.В. Козлов. – М.: МГУ, 1989.

3. *Кириенко В.П.* Системы импульсного электропитания частотно-регулируемых озонаторов / В.П. Кириенко // Электротехника, 2008, № 1.

ВИБРОИЗМЕРЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Шилин А.Н. – д-р техн. наук, профессор
Волгоградского государственного технического университета
Качоровский А.Б. – канд. техн. наук
Волгоградского государственного технического университета
Седов М.Н. – студент
Волгоградского государственного технического университета

В настоящее время одной из основных проблем в энергетике является надежность работы энергетического оборудования. Для решения этой проблемы необходимо разрабатывать и внедрять системы контроля и прогнозирования технического состояния энергетического оборудования, которые позволяли бы предотвращать аварийные ситуации и, следовательно, обеспечивать бесперебойное энергоснабжение. На тепло- и электростанциях основными наиболее ответственными агрегатами являются турбины, для прогнозирования остаточного ресурса которых широко используются виброизмерительные приборы и системы. Анализ информации, полученной с помощью этих приборов, позволяет сделать заключение о текущем состоянии оборудования. В технике вибрационных измерений большое распространение получили системы, использующие в качестве первичного измерительного преобразователя пьезоэлементы, обеспечивающие прямое измерение сигнала виброускорения в диапазоне частот 10-10 000 Гц [1]. Однако частоты вращения гидрогенераторов Волжской ГЭС составляют порядка 1,14 Гц. Существующие приборы не могут быть использованы для диагностики гидрогенераторов, поскольку необходимые для анализа сигналы виброскорости и виброперемещения получаются последующим интегрированием с помощью вторичного измерительного преобразователя, что вносит значительные погрешности на частотах в единицы герц. Таким образом, задача совершенствования и разработки измерительных преобразователей для вибродиагностики в низкочастотной области является весьма актуальной.

Одним из вариантов решения задачи является использование в качестве датчика подвижной инертной массы на упругой подвеске. Такая система (рис. 1) без опорной точки позволяет регистрировать перемещения массы относительно корпуса в широком диапазоне частот. Причем, в низкочастотной области совершает движение инертная масса относительно корпуса, закрепленного на контролируемой точке оборудования, в высокочастотной – корпус датчика движется относительно инертной массы.

Здесь c – жесткость подвеса инертной массы m; k – коэффициент трения; x_l – входной параметр перемещения; x_a – выходной параметр, преобразуемый далее вторичным измерительным преобразователем в электрический сигнал.

Дифференциальное уравнение, связывающее входную и выходную величины, имеет вид, [2]:

$$m\ddot{x}_a + k\dot{x}_a + cx_a = -m\ddot{x}_l, \qquad (1)$$

а выражение для амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) системы будет, [2]:

$$|G(j\lambda)| = \frac{\lambda^2}{\sqrt{(1-\lambda^2)^2 + 4D^2\lambda^2}}, \qquad (2)$$

где $\lambda = \dfrac{\omega}{\omega_0}$ – нормированная частота; $D = \dfrac{k}{2m\omega_0}$ коэффициент системы затухания; $\omega_0 = \sqrt{\dfrac{c}{m}}$ – выражение для собственной частоты колебаний системы.

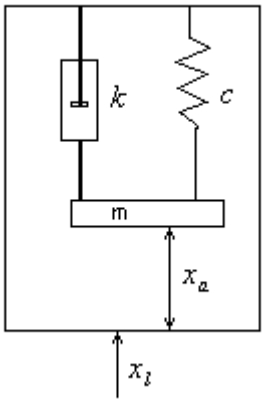


Рис. 1. Система без опорной точки

Для использования такой системы в качестве первичного измерительного преобразователя необходимо, чтобы его АЧХ была равномерна в рабочем диапазоне частот. Очевидно, что форма АЧХ определяется коэффициентом затухания *D*, наиболее оптимальное значение параметра равно 0,6 (рис. 2). При этом значении амплитудно-частотная характеристика является наиболее равномерной.

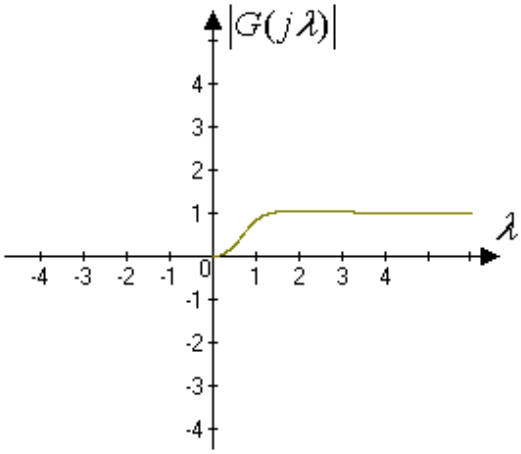


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика системы
без опорной точки для параметра *D* = 0,6

Используя вместо пружины электромагнитную подвеску (рис. 3), можно управлять жесткостью системы, и, следовательно, изменять её амплитудно-частотную характеристику, а именно – смещать в область более низких частот [3].

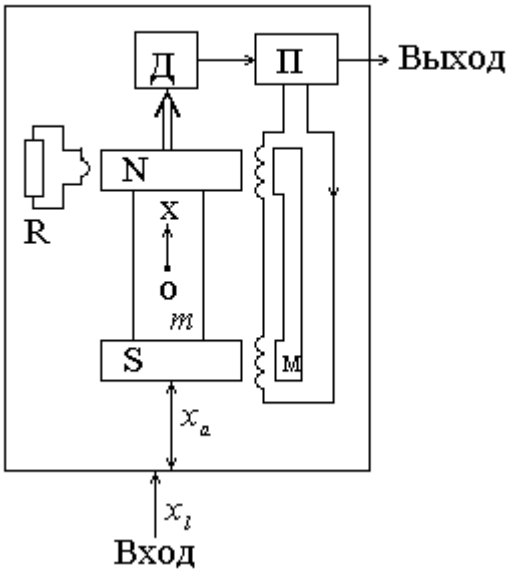


Рис. 3. Преобразователь с электромагнитной подвеской

Преобразователь на такой основе устроен следующим образом (рис. 3). В корпусе с магнитопроводом размещен магнит *NS* массы *m*, совершающий колебательные движения вдоль оси *OX*, его перемещение фиксируется датчиком положения *Д*, и с помощью преобразователя электрических сигналов *П* подается сигнал управления на катушки электромагнитной подвески и на выход всего устройства в целом. Для демпфирования в системе применен виток, находящийся в поле магнита и замкнутый на резистор *R*, его величина подбирается таким образом, чтобы обеспечить $D = 0{,}6$ и соответственно равномерность АЧХ.

За счет изменения электромагнитного коэффициента жесткости можно управлять смещением амплитудно-частотной характеристики и обеспечить измерение параметра перемещения на частотах единиц герц. Такие первичные измерительные преобразователи могут быть использованы в вибродиагностике гидрогенераторов ГЭС и других малоскоростных машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Токарев С.С.* Новые разработки ООО НПП «ВИКОНТ» / Под общ. ред. Е.В. Мартынова // Энергоресурсоэффективность и энергосбережение в республике Татарстан: сб. докл. VII Междунар. симп., Казань, 5-7 декабря 2006 г. – Казань, 2006. – С. 152-159.

2. *Краус М.*, *Вошни Э.* Измерительные информационные системы. – М.: Мир, 1975. – 310 с.

3. Пат. 2207522 Российская Федерация, МКИ 7 С 01 Н 11/02. Устройство для измерения вибраций / А.Б. Качоровский, В.Ю. Переяслов; Опубл. 2003. – Бюл. № 18.

НОВЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-10 КВ

Зенина Е.Г. – канд. техн. наук, доцент
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском
Арванитаки Н.В. – ст. преподаватель
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском
Кременецкая Т.Л. – студентка
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском

Отличительной особенностью сетей 6-10 кВ является то, что 70 % всех нарушений электроснабжения происходит именно в сетях данного класса напряжения.

Традиционно сети 6-10 кВ отличаются слабой оснащенностью коммутационными аппаратами. Еще одной важной особенностью ВЛ 10 кВ является слабая автоматизация послеаварийных переключений. Они, как правило, выполняются вручную, в основном силами оперативно-выездной бригады (ОВБ), которая преодолевает значительные расстояния для осуществления операций территориально распределенными коммутационными аппаратами. Поэтому длительность аварийных отключений достаточно велика.

По данным ОАО «РОСЭП» длительность отключений потребителей составляет порядка 70-100 ч в год, что на 2 два порядка выше, чем в технически развитых западных странах. Значительную часть длительных отключений можно предотвратить путем применения средств многократного автоматического повторного включения (АПВ). Однако существующие на сегодняшний день в распределительных сетях средства релейной защиты не позволяют выполнять подобные функции.

Традиционно проблема длинных фидеров решается в отечественных электрических сетях 6-10 кВ за счет строительства так называемых разукрупняющих подстанций. Очевидно, что этот путь требует значительных капитальных вложений, а в ряде случаев физически неосуществим из-за невозможности размещения подстанции в нужном месте.

Как показывает зарубежный опыт, выходом из сложившейся ситуации (при этом, как правило, более дешевым) может быть реализация «принципа длинного фидера» – глубокого секционирования его магистрали на относительно небольшие участки, реализация которого стала возможной благодаря применению коммутационных аппаратов нового поколения – реклоузеров, представляющих собой совокупность вакуумного коммутационного модуля со встроенной системой измерения токов и напряжения и шкафа управления с микропроцессорной системой релейной защиты и автоматики (рис. 1).

Реклоузер – это аппарат, объединяющий в себе практически все виды противоаварийной автоматики: АПВ, АВР (автоматический ввод резерва), МТЗ (максимальная токовая защита), ЗЗЗ (защиты от замыканий на землю), УПГ (устройство плавки гололеда) и др. Реклоузер допускает, но не требует наличия каналов связи с центром питания, тем самым обеспечивая полностью автономную работу и давая возможность проводить децентрализованное управление автоматикой распределительных сетей. Кроме того, реклоузер позволяет в режиме реального времени вести протоколы по параметрам качества передаваемой электрической энергии и при наличии телемеханики передавать эти протоколы в любое место, где есть приемник телеметрического сигнала. Это дает возможность легко интегрировать данное устройство в автоматизированную систему управления района электрических сетей. При этом на протяжении всего срока службы аппарат не обслуживается.

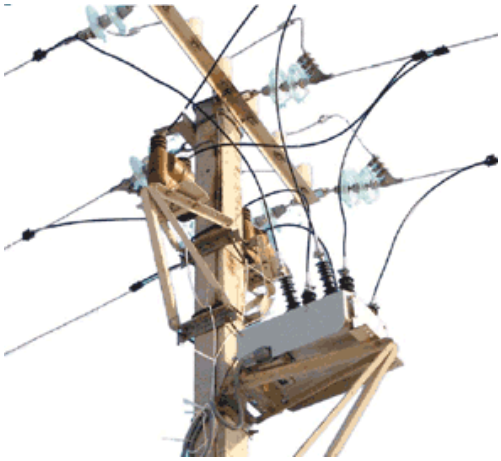


Рис. 1

Реклоузер – это надежное и довольно простое в эксплуатации устройство, позволяющее отключать токи КЗ за минимальное время и при этом за такое же время восстанавливать электроснабжение на неповрежденных участках. Значения протекающих в линии токов через трансформаторы тока поступают на цифровые реле, которые могут быть запрограммированы на довольно широкий спектр параметров, в зависимости от места и целей установки реклоузера.

Принцип действия реклоузера состоит в следующем (рис. 2).

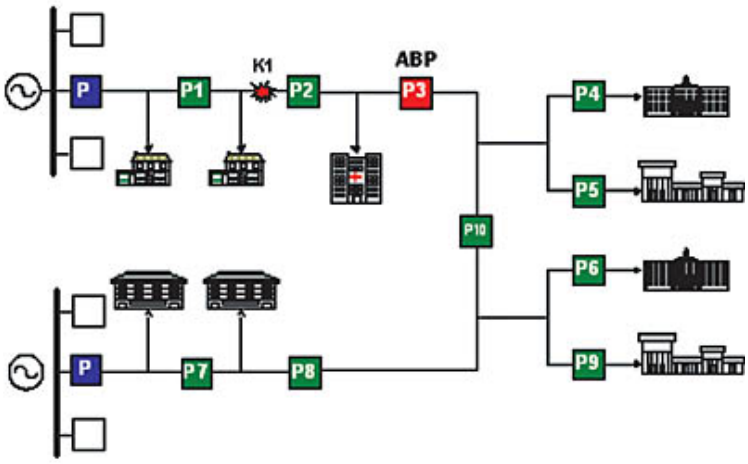


Рис. 2

Пусть произошло повреждение линии на участке К1:

1. Реклоузер Р1 отключается при повреждении в точке К1. Очень важно при этом, что головной выключатель не отключается.

2. Реклоузер Р2 меняет последовательность своего действия. Его уставки выставляются в соответствии с режимом защиты от минимального напряжения.

3. Нормально отключенный реклоузер Р3 включается в соответствии с режимом защиты от минимального напряжения.

4. Реклоузер Р2 выключается только однажды и остается отключенным.

Поврежденный участок изолирован между реклоузерами Р1 и Р2 за гораздо меньшее время, чем при централизованной автоматике, когда для тех же целей применяются обычные выключатели. Причем при выполнении перечисленных операций каналы связи не требовались. Каналы связи могут быть использованы для восстановления системы, а также для измерений или диагностики системы во время планового восстановления нормального режима работы.

Основными производителями реклоузеров в мире являются компании Cooper Power Systems (США), ПГ «Таврида Электрик» (Россия), NuLec Industries (Австралия), Wipp&Bourn (Англия) и др.

Расчеты, выполненные в ОАО «ВНИИЭ», показывают, что при применении реклоузеров ущерб от недоотпуска снижается в несколько раз. При этом срок окупаемости затрат (в зависимости от удельной стоимости ущерба от недоотпуска 1 кВт·ч) равен от 3 до 9 лет. Это подтверждает и зарубежный опыт эксплуатации. Так, энергокомпания Детройт-Эдиссон (США) отмечает, что внедрение в распределительные сети реклоузеров позволяет ей экономить около 1 миллиона долларов ежегодно лишь за счет снижения затрат на эксплуатационное обслуживание и регулярную замену существующего парка традиционных выключателей, поскольку реклоузеры на протяжении всего срока службы (25 лет) не требуют какого-либо обслуживания. Кроме того, снижаются затраты на профилактическое обслуживание реклоузеров, расследование аварий, связанных с неправильными действиями РЗА, ремонт поврежденного оборудования, сбор и обработку информации о режимах и событиях, поиск места повреждения на линиях электропередачи и установку дополнительных средств защиты. К тому же применение реклоузеров повышает безопасность обслуживающего персонала.

Подводя итог, можно сказать следующее: внедрение реклоузеров в распределительные сети 6-10 кВ является перспективным, технологически оправданным мероприятием и отвечает Концепции технического перевооружения электрических сетей РАО «ЕЭС России». Их применение позволяет снизить ущерб от недоотпуска электроэнергии и повысить надежность электроснабжения. Области применения реклоузеров для различных схем электроснабжения, стоимостных характеристик удельных ущербов групп потребителей, требуют более глубокого изучения и экономического анализа.

Однако уже сегодня можно с полной уверенностью сказать, что проектирование и строительство электрических сетей с применением реклоузеров позволит в недалеком будущем вывести отечественные электрические сети среднего напряжения на новый уровень автоматизации и управления.

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Шилин А.Н. – д-р техн. наук, профессор
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском
Арванитаки Н.В. – ст. преподаватель
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском

В настоящее время в России одним из мероприятий по энергосбережению является применение частотно-регулируемого привода, который позволяет регулировать частоту питающего напряжения, осуществлять точное регулирование практически любого процесса в наиболее экономичном режиме, без тяжелых переходных процессов в технологических системах и электрических сетях. Внедрение частотного регулирования электроприводов (ЧРП) позволяет: повысить надежность работы оборудования и систем; автоматизировать производство. ЧРП имеет существенные недостатки: в первую очередь требует больших затрат на приобретение и установку, так как в настоящее время используются ЧРП иностранного производства, ввиду отсутствия отечественных аналогов; снижает качество электроэнергии; чувствителен к скачкам напряжения питающей сети.

Альтернативным методом энергосбережения по сравнению с применением частотно-регулируемого привода может служить метод снижения потерь электроэнергии, основанный на анализе режимов работы асинхронного двигателя. Чем больше время между включениями электродвигателя, тем меньше потери на пусковые токи и меньше влияние дополнительных гармоник на работу двигателя и привода.

Важность задачи учета потерь в стали, по крайней мере, при работе АД с нагрузками, не превышающими номинальную, определяется существенным вкладом этих потерь в суммарные потери машины. Так, например, для АД серии 4А потери в стали могут составлять более 20 % от полных потерь номинального режима и более 50 % от полных потерь холостого хода. Неучет этих потерь при анализе энергетических характеристик привода приводит к существенным погрешностям. Небольшое влияние потери в стали оказывают также на величину и взаимную ориентацию обобщенных векторов электромагнитных переменных АД (напряжения, токов, потокосцеплений) в статических и динамических режимах работы.

Были проанализированы частотные характеристики асинхронного двигателя с учетом потери в стали. Для расчетов выбран асинхронный двигатель RA90L6 с параметрами: P_2 = 1 500 Вт, $U_{ном}$ = 220 В, f_0 = 50 Гц, R_s = 3,57 Ом, R_r = 3,8 Ом, X_s = 4,99 Ом, X_r = 8,28 Ом, X_m = 82,90 Ом, R_{m0} = 5,49 Ом, s = 0,023.

Для упрощения расчетов была составлена электрическая схема

замещения асинхронного двигателя. На рис. 1 представлена Т-образная схема замещения. Магнитная связь обмоток статора и ротора в АД на схеме замещения заменена электрической связью цепей статора и ротора. Активным и индуктивным сопротивлениями R_s и X_s представлена электрическая нагрузка, активное сопротивление R_m эквивалентно потерям в стали, а потери в сопротивлении $R_r \frac{1-s}{s}$ эквивалентны механической мощности на валу машины P_r. Необходимо отметить, что с ростом нагрузки на валу машины растут токи $\dot{I}_r$ и $\dot{I}_s$. Это изменение тока можно не учитывать при анализе рабочих процессов в машине при изменении скольжения в небольших пределах для номинальных режимов.

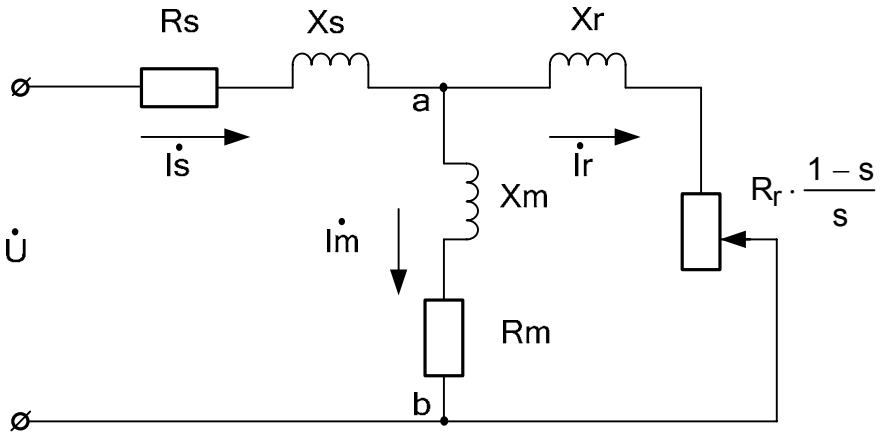


Рис. 1

На основании полученной схемы замещения (рис. 1) были найдены токи и посчитаны нагрузки на каждом участке схемы

$$P = I^2 R \tag{1}$$

и КПД двигателя

$$\eta = \frac{P_r}{P_s + P_m + P_r}. \tag{2}$$

Изменяя частоту в пределах от 1 до 1 000 Гц, можно получить различные значения КПД, и по этим значениям строится график зависимости КПД от частоты (рис. 2), аналогично строится график изменения мощности P_s и P_m в зависимости от изменения частоты (рис. 3).

Для этого исследования была построена математическая модель АД и проведены расчеты мощности на каждом ее элементе. Были также учтены изменения потерь в стали от изменения частоты. Далее был посчитан КПД данного двигателя при различных частотах и построен график зависимости КПД от изменения частоты. Частота выбиралась в пределах от 1 до 1 000 Гц. Получены графики изменения потерь в стали и в меди в зависимости от частоты,

построены графики амплитудно-частотной характеристики, изменения передаточной функции и зависимости угла сдвига фаз от изменения частоты.

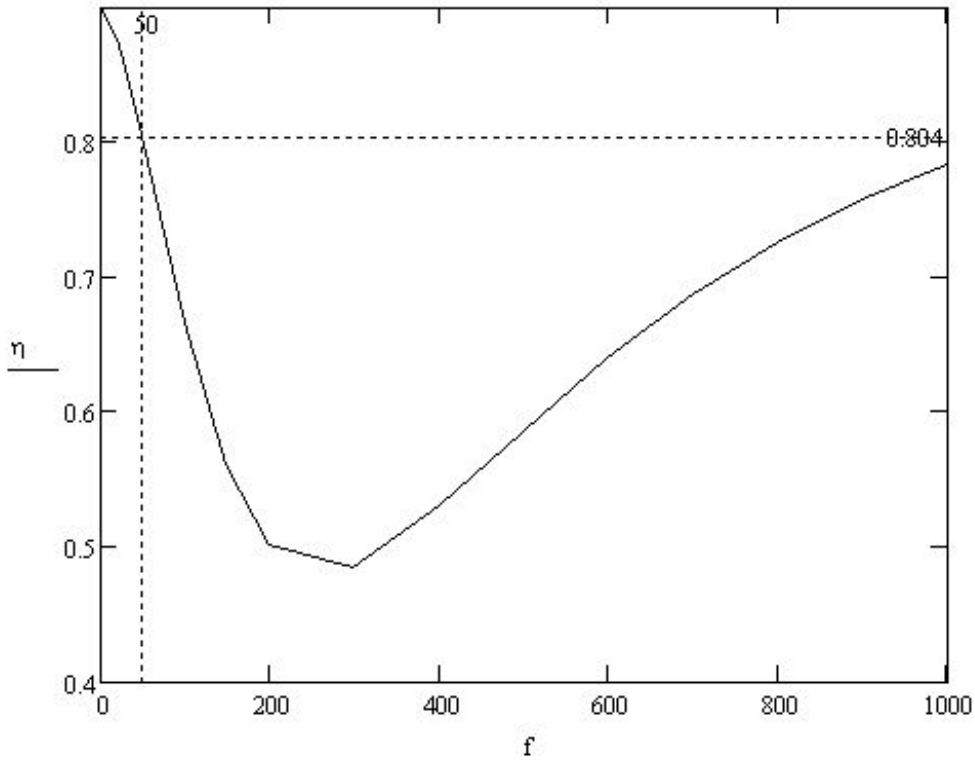


Рис. 2. График зависимости КПД от частоты

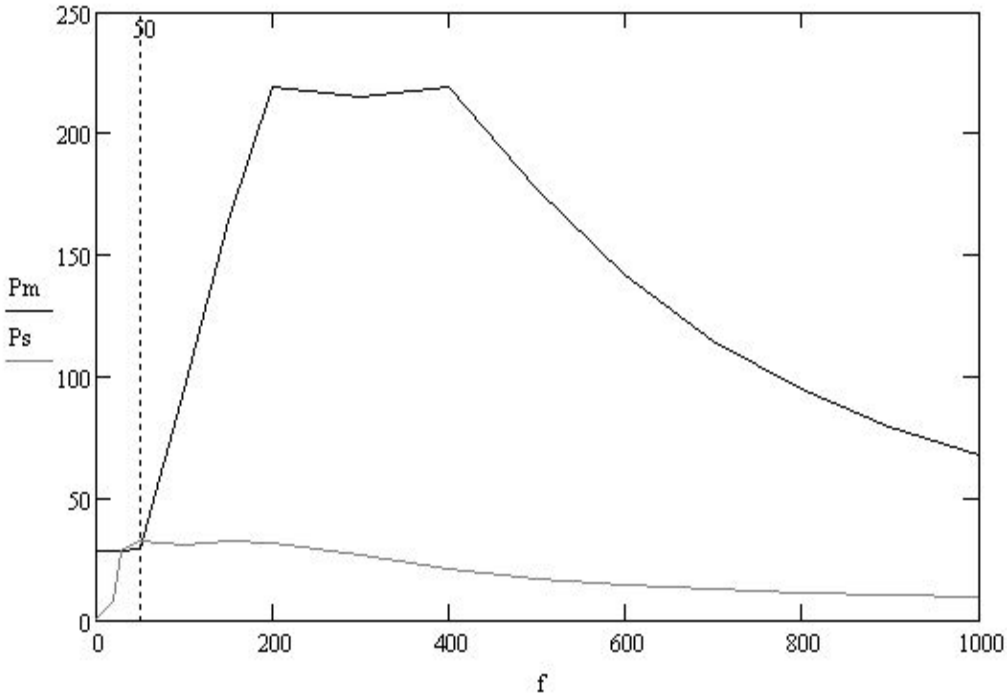


Рис. 3. График изменения мощности от частоты

Передаточная функция $W(jw)$:

$$\left|W(jw)\right| = \frac{U_{\text{вых}}(jw)}{U_{\text{вх}}(jw)} = \frac{I_r(jw)R_r}{U}. \qquad (3)$$

В результате полученных данных был построен график изменения передаточной функции от частоты, график амплитудно-частотной характеристики и график зависимости угла сдвига фаз от изменения частоты (рис. 4, 5, 6).

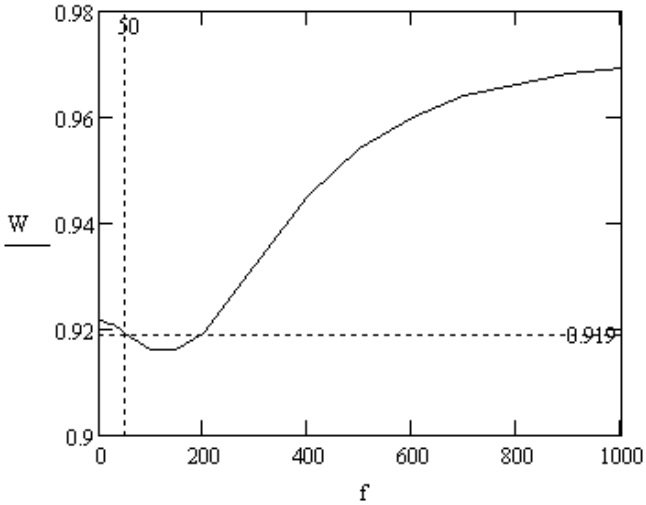


Рис. 4. График изменения передаточной функции от частоты

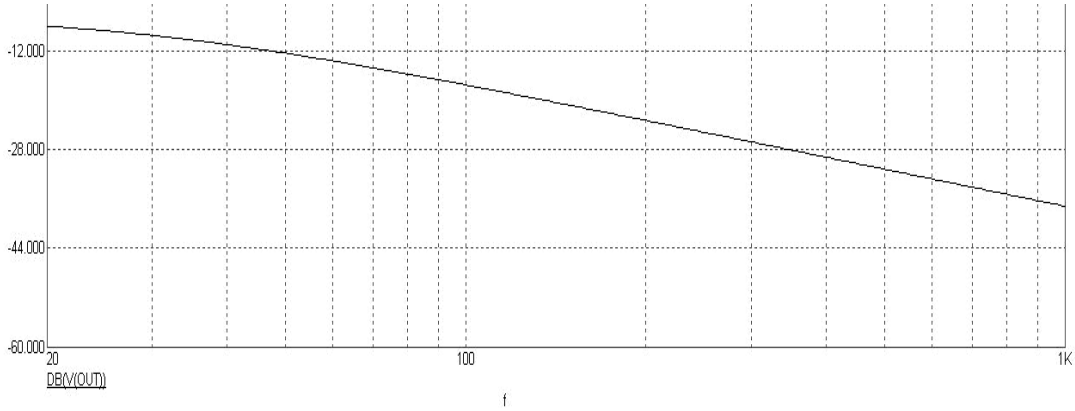


Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика

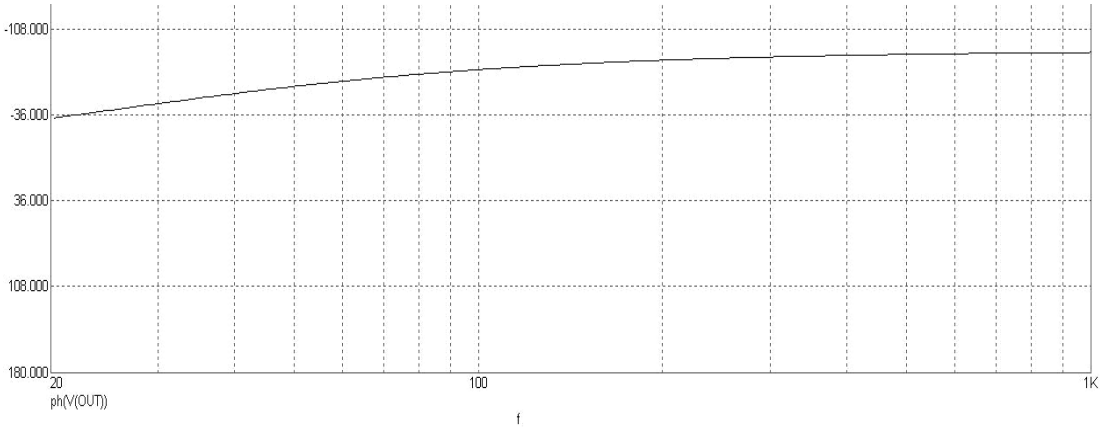


Рис. 6. График зависимости угла сдвига фаз от изменения частоты

Анализируя вышеприведенные графики можно сделать вывод, что при уменьшении частоты питающей сети до 30-40 Гц КПД двигателя увеличатся, а потери уменьшатся, и также возрастет значение напряжения на выходе. Тем самым двигатель будет работать в более энергосберегающем режиме.

Проведенный анализ энергетических потерь в асинхронном электродвигателе может быть использован при выборе оптимальной частоты вращения, при которой потери минимальны, и, следовательно, может быть использован наряду с ЧРП, как мероприятие по энергосбережению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кудрявцев А.В.*, *Ладыгин А.Н.* Современные преобразователи частоты в электроприводе. – М.: МЭИ, 3 февраля 1998. – 27 с.

2. *И.И. Карташев* и др. Управление качеством электроэнергии. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 320 с.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАТРАТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПЕРЕКАЧКУ ЖИДКОСТИ В ПРОТЯЖЁННЫХ СИСТЕМАХ ВОДОПРОВОДА

Васильев П.Д. – канд. техн. наук, зав. каф. ЭОП, доцент
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском
Ветлицын Ю.А. – ст. преподаватель
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском

1. Определение мощности, необходимой системе подачи жидкости

Насосная станция вместе с напорными коллекторами и устройствами разбора жидкости может быть представлена упрощённой схемой, рис. 1.1.

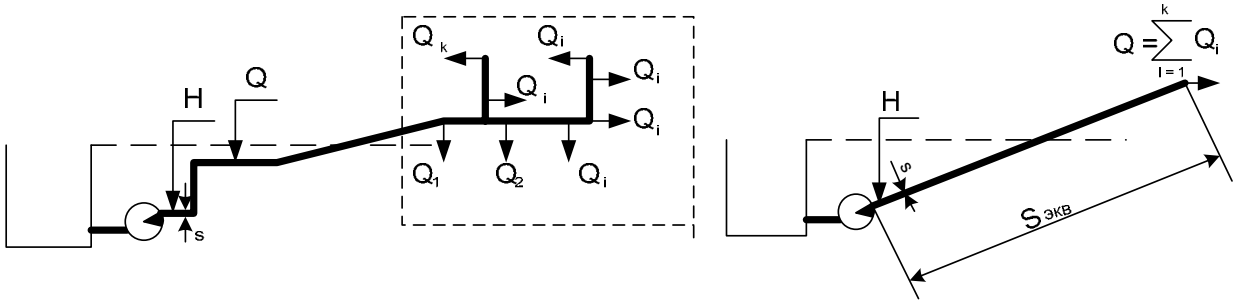


Рис.1.1. Упрощённая схема подачи жидкости

Энергия, которой обладает движущаяся в системе жидкость:

$$W = E_{\text{пт}} + E_{\text{кин}}. \qquad (1)$$

Принимаем допущения:

– система коллекторов заполнена жидкостью, поэтому потенциальная энергия жидкости постоянна;

– расход жидкости определяется требованиями потребителя, а насосная станция создаёт необходимый напор для обеспечения этих требований.

Система подачи жидкости признаётся стационарной, если изменение расхода ΔQ за время $t > t_{ск}$ несущественно по сравнению со средним расходом Q (удовлетворяет большинству систем подачи жидкости).

Система признаётся квазистационарной, если изменение расхода ΔQ несущественно по сравнению с действующим расходом Q за время одного оборота рабочего колеса (удовлетворяют практически все системы).

Для каждого квазистационарного состояния системы действующий расход Q считаем величиной постоянной, а вышедшая из системы жидкость обратной связи с системой не имеет. Тогда энергия

$$W = \rho g \sum_i h_i L_i s_i + \frac{\rho S}{2s} Q^2, \tag{2}$$

где Q – расход жидкости, измеряемый на выходе из насоса; $t_{ск}$ – время перемещения жидкости от насоса до выхода из эквивалентной системы; s – поперечное сечение потока жидкости в эквивалентной системе; S – путь жидкости от насоса до точки выброса из эквивалентной системы; ρ – плотность перекачиваемой жидкости; L_i –длина i-го участка жидкости со средней высотой h_i относительно насоса; g – ускорение свободного падения; s_i – поперечное сечение i-го участка жидкости в системе.

На рабочем участке характеристики насоса зависимость $H = f(Q)$ определяется уравнением, [1]:

$$H = A\omega^2 - B\omega Q, \tag{3}$$

где

$$A = \frac{D^2}{4g}, \tag{4}$$

$$B = \frac{ctg(\beta_2)}{2\pi g b_2}, \tag{5}$$

где D – диаметр рабочего колеса; β_2, α_2 – углы выхода жидкости; b_2 – ширина колеса на выходе.

Коэффициенты A и B могут также быть определены по двум значениям H и Q рабочего участка характеристики насоса с известной частотой вращения (определение по характеристике предпочтительнее, так как D и b_2 зависимы от положения рабочего колеса) [4].

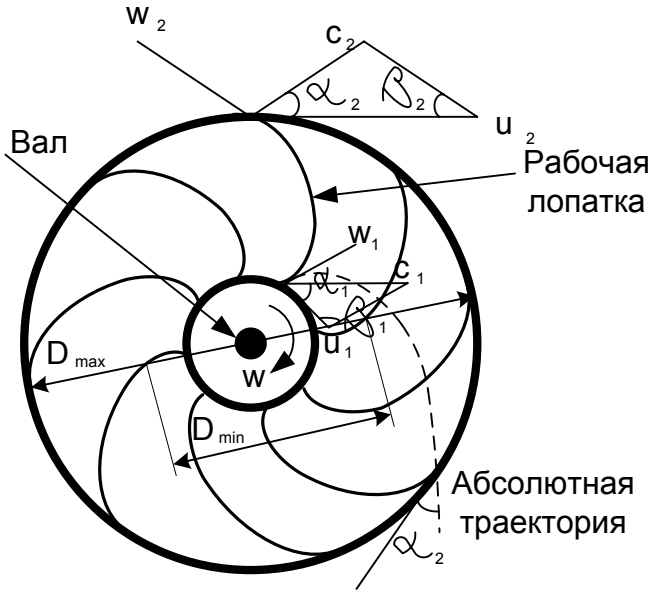


Рис. 1.2. Схема рабочего колеса

Учитывая (здесь и далее), что напор насоса равен напору системы с противоположным знаком:

$$W = P_{\text{пот}} t + \rho g \sum_i h_i L_i s_i + \frac{\rho S}{2s}\left(\frac{A\omega^2 + H}{B\omega}\right). \tag{6}$$

Используя упрощённое уравнение Эйлера для центробежного насоса без направляющего аппарата на входе:

$$H = \frac{u_2 c_2 \cos(\alpha_2)}{g}, \tag{7}$$

где

$$u_2 = \frac{D\omega}{2}, \tag{8}$$

$$c_2 = \frac{u_2 \sin(\beta_2)}{\sin(\alpha_2 + \beta_2)} \cong \frac{Q}{s}, \tag{9}$$

и выражая мгновенное значение диаметра формулой

$$D(t) = D_{\min} + (D_{\max} - D_{\min}) f(t), \tag{10}$$

где $D_{\min}$ – минимальный диаметр рабочего колеса насоса в момент выхода жидкости в коллектор (рис. 1.2); $D_{\max}$ – максимальный диаметр рабочего колеса насоса в момент выхода жидкости в коллектор; $(D_{\max} - D_{\min})\, f(t)$ – функция изменения диаметра рабочего колеса центробежного насоса в момент выхода жидкости. Вид функции $f(t)$ зависит от формы лопаток рабочего колеса и определён на интервале времени от $t_0 = 0$ – момент прохождения точки выброса жидкости

верхней границей первой лопатки до $t_к$ – момент прохождения точки выброса жидкости верхней границей второй лопатки; после момента

$$t_к = \frac{2\pi}{n\omega} \tag{11}$$

вид функции повторяется. Продолжительность интервала $[t_0, t_к)$ определяют параметры: n – число лопаток рабочего колеса и ω – частота вращения рабочего колеса. Выбирая в первом приближении линейный вид $f(t)$:

$$f(t) = \frac{n\omega}{2\pi} t\,. \tag{12}$$

Выражение энергии имеет вид

$$W = \rho g \sum_i h_i L_i s_i + \frac{\rho S}{2sB^2\omega^2} \times$$

$$\times \left\{ A^2\omega^4 + \frac{A\omega^3 Q\cos(\alpha_2)}{gs}\left(D_{\min} + (D_{\max} - D_{\min})\frac{n\omega}{2\pi} t \right) + \right.$$

$$\left. + \frac{\omega^2 Q^2 (\cos\alpha_2)^2}{4g^2 s^2}\left(D_{\min} + (D_{\max} - D_{\min})\frac{n\omega}{2\pi} t \right)^2 \right\}. \tag{13}$$

Очевидно, мощность системы подачи жидкости

$$P = dW(t) = \frac{Q^2 \rho S n \omega D_{var} (\cos\alpha_2)^2}{8\pi g^2 s^3 B^2} \cdot \left(D_{\min} + (D_{\max} - D_{\min})\frac{n\omega}{2\pi} t \right) +$$

$$+ \frac{\rho S A \omega^2 Q n D_{var} \cos\alpha_2}{4\pi B^2 g s^2}\,. \tag{14}$$

Преобразуем выражение

$$P = \frac{\rho S n D_{var} \cos\alpha_2}{4\pi g s^2 B^2} \cdot \left\{ Q\left(\frac{\omega Q \cos\alpha_2}{2gs} D(t) \right) + AQ\omega^2 \right\}; \tag{15}$$

$$P = \frac{\rho S n D_{var} \cos\alpha_2}{4\pi g s^2 B^2} \cdot \left\{ QH + AQ\omega^2 \right\}, \tag{16}$$

где H – напор насоса; $D_{var} = D_{\max} - D_{\min}$ – разность диаметров рабочего колеса в момент выброса жидкости из насоса.

2. Составляющие потерь в электрических и механических устройствах

Полученная по предложенной формуле мощность определит затраты на перекачку жидкости по системе, в общие затраты электроэнергии войдут потери в системе электропривода.

Рассмотрим один из возможных вариантов электропривода, показанный на рис. 2.1, включающий следующий набор устройств:

– центробежный насос;

– электродвигатель;

– преобразователь частоты (с выходным трансформатором и кабельной линией);

– понижающий входной трансформатор (с кабельной линией).

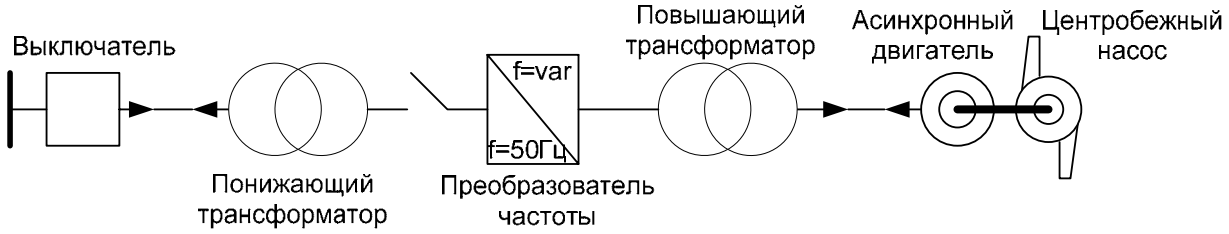


Рис. 2.1. Схема устройств, определяющих потери в системе электропривода

Сумма потерь

$$P_{пот} = P_{нс} + P_{эл} + P_{пч} + P_{т1}, \qquad (17)$$

где $P_{нс}$ – механические потери на вращение сухого рабочего колеса насоса и трение в подшипниках; $P_{эл}$ – сумма потерь в электродвигателе при создании вращающего момента (определению величины и характера потерь в электродвигателе, особенно при изменении частоты вращения, посвящено множество исследований [5]); $P_{пч}$ – электрические потери в элементах преобразователя частоты, выходном трансформаторе, кабельной линии, затраты на питание устройств охлаждения и управления преобразователем частоты (изучению этих потерь посвящено много научных работ последнего десятилетия [3]); $P_{т1}$ – электрические потери в понижающем трансформаторе [2].

$P_{нс}$ зависят от частоты вращения, но имеют наименьшую величину, поэтому могут считаться постоянными.

$P_{эл}$ являются функцией частоты вращения и частоты тока и величины вращающего момента, но для практических расчетов могут быть определены по коэффициенту полезного действия номинального режима.

По наблюдениям за агрегатом 630 кВт насосной станции II-го подъёма города Волжского величины потерь составляли (большие значения относятся к режиму номинальной нагрузки двигателя):

$P_{нс} + P_{эл}$ 20 ÷ 40 кВт;

$P_{пч}$ 13 ÷ 30 кВт;

$P_{т1}$ 4 ÷ 8 кВт.

Следовательно, в расчётах величина $P_{пот}$ может быть принята постоянной около 10 % мощности, необходимой системе подачи жидкости при наличии преобразователя частоты или около (100 – $КПД_{зд}$) % при нерегулируемом электроприводе.

3.Определение полных затрат электрической энергии

Полные затраты энергии за период ΔT работы насосного агрегата с заданными параметрами напора и расхода жидкости

$$W_{эл} = P_{пот}\,\Delta T + P\,\Delta T,$$

где P – мощность, необходимая системе подачи жидкости и рассчитанная по предложенной методике; $P_{пот}$ – потери мощности в устройствах преобразования энергии.

$P_{пот} = 0{,}1P$ – при использовании преобразователя частоты.

$P_{пот} = 0{,}05P$ – при нерегулируемом электроприводе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Товстолес Ф.П.* Гидравлика и насосы. Ч. 3. – Госстройиздат, 1938.

2. *Пиотровский Л.М.* Электрические машины. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 504 с.

3. *Кудрявцев А.В.*, *Ладыгин А.Н.* Современные преобразователи частоты в электроприводе. – М.: МЭИ, 3 февраля 1998. – 27 с.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Васильев П.Д. – канд. техн. наук, доцент
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском
Ветлицын Ю.А. – ст. преподаватель
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском

Одним из основных мероприятий по повышению качества технологического процесса и энергосбережению является внедрение преобразователей частоты переменного тока для регулирования режима работы центробежных насосов. Наиболее часто встречаются два способа применения преобразователей:

– в качестве коммутационного аппарата с предварительно установленными значениями частоты переменного тока. Управление преобразователем осуществляет оператор, задавая периодичность включения и рабочую частоту преобразователя по необходимости выполнения технологического режима;

– в системе автоматического управления по одному технологическому параметру (обычно напору). Оператор изменяет задание напора для выполнения технологического режима, а преобразователь с ПИД-регулятором изменяет частоту переменного тока.

В первом случае энергетическая эффективность применения очень низкая, так как оператор не имеет информации об оптимальных интервалах включения оборудования и оптимальных частотах выполнения технологического процесса. Второй вариант применяется на насосных станциях с непрерывным режимом работы насоса, и энергетическая эффективность применения снижается наличием ультранизкочастотных колебаний расхода жидкости в течение суток и колебаний расхода с частотой единицы Герц из-за случайного подключения различных потребителей. Оператор компенсирует низкочастотную составляющую изменением задания напора в течение суток, система регулирования сглаживает высокочастотную составляющую вариацией значения частоты переменного тока.

Увеличение оператором числа заданий в единицу времени приводит к завышению потребления в интервалы времени до установки нового значения параметра, и получаемое значение частоты тока не всегда является оптимальным. Так как центробежный насос и жидкость в системе коллекторов обладают свойством саморегулирования с изменением некоторых технологических параметров, соответственно новое значение частоты переменного тока устанавливается под действием всех изменений в системе. Иногда возникают резонансные явления, не позволяющие установить новое значение частоты [1].

Для устранения недостатков системы производители преобразователей частоты увеличивают количество параметров в «Меню настроек». Одним из основных параметров становится частота переменного тока для различных режимов работы преобразователя. Например, большинство преобразователей требуют задания следующих параметров частоты:

• для работы с управлением от дискретных входов – значения выходных частот по соответствующим фиксированным сигналам;

• для работы от «задатчика» – значения минимальной и максимальной выходных частот;

• для настройки токовой защиты по тепловой модели требуется установка частоты среза по допустимому значению номинального тока;

• для «защиты сухого хода» требуется ввод частоты запуска защиты;

• для настройки процесса разгона/торможения необходимо разбиение рабочего диапазона частот на участки с допустимой скоростью изменения частоты;

• для настройки «резонансных точек» необходимо задать частоты возникновения резонансных явлений;

• для настройки «условий включения» необходимо ввести выходные частоты включения и переключения агрегатов;

• для общего ограничения работы преобразователя обязателен ввод значений минимальной и максимальной выходной рабочей частоты и стартовой частоты преобразователя.

Очевидно, методика определения оптимальной частоты для новых технологических параметров и известных значений предыдущей частоты позволит надёжно определять большинство требуемых значений. Возможность расчёта мощности для любого значения частоты позволит более совершенно моделировать

процессы теплоотдачи в электродвигателе и преобразователе частоты, соответственно упростив настройки или изменив систему охлаждения.

1. Определение оптимальной частоты вращения рабочего колеса

Технологический процесс подачи жидкости определяется двумя параметрами:

– напор $H_{раб}$, развиваемый центробежным насосом (измеряется в начале системы коллекторов);

– расход жидкости $Q_{раб}$, отдаваемый потребителям из системы (измеряется по скорости потока жидкости и сечению коллектора на прямом участке коллектора, выходящем из насосной станции).

Оптимальная частота вращения $\omega_{раб}$ определится решением квадратного уравнения, [2]:

$$H_{раб} = A\omega_{раб}^2 - BQ_{раб}\omega_{раб},$$

где

$$A = \frac{D_{ср}^2}{4g};$$

$$B = \frac{A\omega_{пас}^2 - H_{пас}}{Q_{пас}\omega_{пас}},$$

где $D_{ср} = \dfrac{D_{max} + D_{min}}{2}$ – средний диаметр рабочего колеса; $H_{пас}$ – паспортный напор насоса; $Q_{пас}$ – паспортная производительность насоса; $\omega_{пас}$ – частота вращения, соответствующая паспортным напору и производительности насоса.

Определим рабочую частоту:

$$\omega_{раб} = \frac{F + KD}{2A}, \text{ если } KD > F;$$

$$\omega_{раб} = \frac{F - KD}{2A}, \text{ если } KD < F,$$

где

$$F = BQ_{раб};$$

$$KD = \sqrt{F^2 + 4AH_{зад}},$$

где $H_{зад}$ – новое задание параметра напора (положительная величина).

Теоретически после установления рассчитанной рабочей частоты может происходить некоторое снижение расхода жидкости (при уменьшении $\omega_{раб}$) или возрастание расхода (при увеличении $\omega_{раб}$), тогда необходимо уточнить $\omega_{раб}$ по этим же формулам с новым значением расхода.

Условия эксплуатации налагают ограничения на значения рабочей частоты:

$$\alpha_1\omega_{пас\ ниж} < \omega_{раб} < \alpha_2\omega_{пас\ выс},$$

где $\omega_{\text{пас ниж}}$ и $\omega_{\text{пас выс}}$ – соответственно нижняя и высшая паспортные частоты вращения рабочего колеса; $\alpha_1 < 1$ и $\alpha_2 > 1$ – ограничивающие коэффициенты.

Если рабочая частота выходит за рамки ограничений, то работа насоса с заданными технологическими параметрами не может быть оптимальной. Необходимо выбрать насос с другими характеристиками для обеспечения технологического процесса.

2. Определение оптимальной частоты переменного тока

В настоящее время преобразователи частоты используются главным образом с асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями, поэтому рассмотрим решение для этого варианта.

Асинхронный двигатель характеризуется скольжением, [3]:

$$s = \frac{\omega_{\text{поля}} - \omega_{\text{раб}}}{\omega_{\text{поля}}},$$

где

$$\omega_{\text{поля}} = \frac{f}{2\pi p},$$

где f – частота переменного тока; p – число пар полюсов электродвигателя.

В первом приближении скольжение равно номинальному $s = s_{\text{ном}}$ и постоянно в заданном диапазоне частоты вращения, тогда

$$f = \frac{2\pi p \omega_{\text{раб}}}{1-s}.$$

Более точное определение f и s возможно при наличии способа расчёта мощности насоса $P_{\text{нас}}$ для частоты вращения $\omega_{\text{раб}}$, тогда

$$\frac{P_{\text{нас}}}{\omega_{\text{раб}}} \cong M_{\text{эм}} = \frac{mpr_{\text{рот}}}{2\pi L_{\text{к}}^2 s}\frac{U_{\text{ф}}^2}{f^3} = \frac{K_{\text{э}} U_{\text{ф}}^2}{sf^3}; \qquad s_i = \frac{K_{\text{э}} U_{\text{ф}i}^2}{P_{\text{нас}i} f_i^3}\omega_{\text{раб}i},$$

где m – число фаз переменного тока; $U_{\text{ф}}$ – фазное напряжение на электродвигателе; $L_{\text{к}}$ – индуктивность короткого замыкания электродвигателя; $r_{\text{рот}}$ – сопротивление ротора электродвигателя; $K_{\text{э}} = \dfrac{mpr_{\text{рот}}}{2\pi L_{\text{к}}^2}$ – постоянный коэффициент.

В результате расчёта могут быть заданы следующие частоты вращения в «Меню настроек» преобразователя частоты:

– стартовая и минимальная

$$f_{\text{старт}} = f_{\min} = \frac{\pi p \omega_{\text{пас ниж}}}{1-s};$$

– максимальная, допустимая насосом (допустимая электродвигателем определяется величиной электромагнитного момента $M_{эм}$)

$$f_{\max} = \frac{3\pi p \omega_{\text{пас выс}}}{1-s};$$

– оптимальная частота переменного тока для технологического режима

$$f_{\text{опт}} = \frac{2\pi p \omega_{\text{раб опт}}}{1-s},$$

где $\omega_{\text{раб опт}} = \omega_{\text{раб}}$, определённая по параграфу 2 статьи.

3. Сравнение расчётной и фактической мощностей центробежного насоса 22НДС насосной станции II-го подъёма города Волжского

В таблице приведены параметры технологического процесса, фактическая мощность насоса в рабочем режиме и расчётные мощностей по двум методам.

Таблица

Сравнительные результаты мощности насоса

Расход, *Q*, м³/час	**Напор, *H*, м**	**Частота**		**Мощность**			
		рабочая *ω*, рад	**оптим, *ω*, рад**	**факт, кВт**	**типовой метод, кВт**	**новый метод, кВт**	**оптим, кВт**
6500	24	78,538	71,933	600	607	600	527
6500	23	77,136	71,107	580	582	578	512
6300	21	73,07	68,395	510	515	505	457
6500	23	75,4	71,107	560	582	558	512
7400= 5545+ 1855	30	78,538 53,727	2×53,05	697= 580+ 117	865= 648+ 217	700= 580+ 120	472
6300	18 Прикр нап задв	78,538	65,713	580	834 с пот *h* 441 без пот	587	507
4500+ 4500	24 умен *D* раб кол	2×78,538	56,772	2×400	840	830 без изм D_{var}	530

По типовой методике определения мощности насоса

$$P_{\text{нас}} = \frac{K_{\text{зап}} \rho g Q H}{\eta_{\text{нас}}},$$

где ρ = 1 000 кг/м³ – плотность воды; g = 9,81 м/с² – ускорение свободного падения; η = 0,7 –коэффициент полезного действия насоса; $K_{\text{зап}}$ =1,0 – коэффициент запаса.

Расчёт по типовой методике даёт расхождение с наблюдаемыми величинами при значительных отступлениях от паспортных параметров насоса. Авторами предлагается рассчитывать мощность по следующей зависимости, [5]:

$$P_{\text{нас}} = \frac{\rho K_{\text{сис}} K_{\text{нас}}}{4\pi g B^2}\left\{QH + AQ\omega_{\text{раб}}^2\right\},$$

где коэффициенты A, B определены по параграфу 2 статьи; $\omega_{\text{раб}}$ – частота вращения, определённая по параграфу 2 статьи для насоса, работающего от преобразователя частоты; $\omega_{\text{раб}}$ = 78,538 рад – частота вращения для насоса с нерегулируемым электроприводом; $K_{\text{нас}}$ [м] – постоянный конструкционный коэффициент насоса; $K_{\text{сис}}$ [м$^{-1}$] – коэффициент влияния системы.

Для системы коллекторов II-го подъёма $K_{\text{сис}}\ K_{\text{нас}}$ = 38,6.

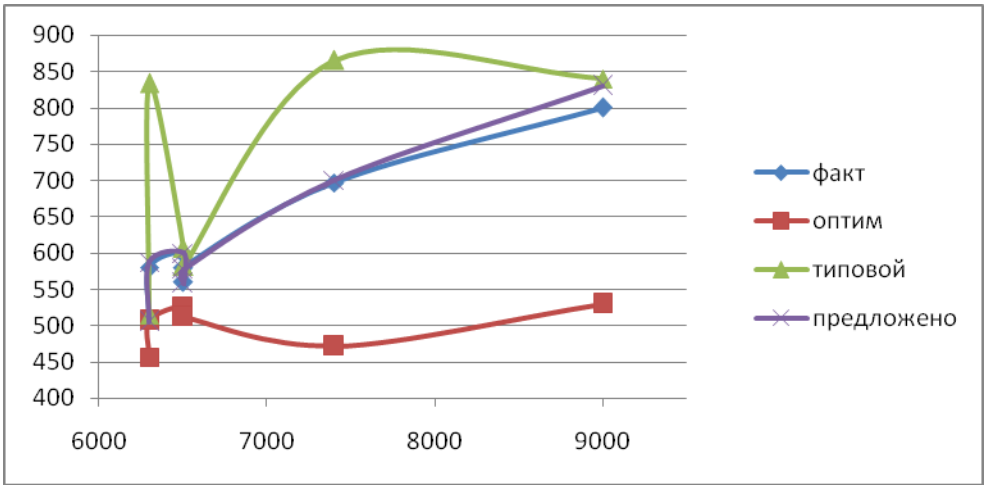


Рис. Сравнение результатов расчёта мощности

1. Применение методики расчёта частоты вращения позволяет повысить эффективность применения преобразователей частоты.

2. При применении преобразователей частоты необходимо вводить в систему регулирования частоты два параметра (напор и расход). Задание и ПИД-регулирование производить по одному параметру, а расчёт рабочей частоты по среднему значению второго и заданию первого параметра.

3. Новый метод расчёта мощности насоса позволяет с достаточной для практических целей точностью определить затраты энергии на подачу жидкости и эффективность применения систем регулирования режима насоса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Товстолес Ф.П.* Гидравлика и насосы. Ч. 3. – Госстройиздат, 1938.

2. Преобразователь частоты. Меню настроек. ЗАО «Электротекс».

3. *Пиотровский Л.М.* Электрические машины. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 504 с.

4. *Васильев П.Д.*, *Ветлицын Ю.А.* Выбор вариантов системы регулирования электропривода насоса на примере насосной станции 3-го подъёма города Волжского Волгоградской области. – Труды VI межд. симпоз. 29.11-02.12.05, Казань: изд. КГУ. – 2006.

ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

Зенина Е.Г. – канд. техн. наук, доцент
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском

Электротехнические дисциплины начинают изучаться на 2-3 курсах с общей электротехники для неэлектротехнических специальностей или теоретических основ электротехники – для специальностей, готовящих инженеров по обслуживанию и проектированию электрических сетей и оборудования. На старших курсах к этому направлению дисциплин можно отнести курсы электрических машин и электропривода, электроники, электронной и преобразовательной техники, а также спецпредметы, базирующиеся на перечисленных выше дисциплинах. Чтобы успешно изучить эти предметы, необходимо иметь хорошую математическую подготовку по следующим вопросам: решение систем алгебраических уравнений, дифференциальное и интегральное исчисление, теория функции комплексного переменного.

Знание физических основ электротехники, представление об электрических и магнитных полях, величинах и уравнениях, описывающих явления, возникающие при возникновении и взаимодействии этих полей, понятия об индуктивности и емкости и т.п. закладывается в курсе физики. Современное развитие вычислительной техники позволяет проводить расчеты, вычисления с помощью прикладных компьютерных программ, облегчающих трудоемкие процессы вычислений. Изучение таких программ, например, *MathCad* и *Exel* начинается в курсе информатики. Последовательное изучение материала общеобразовательных дисциплин в сочетании с общетехническими и специальными дисциплинами, грамотно построенная система межпредметных связей, правильно распределенные акценты в обучении позволяют студентам на старших курсах в полной мере использовать ранее полученные знания.

Опыт преподавания электротехнических дисциплин в вузе показывает, что не всегда четко прослеживается преемственность и последовательность в изложении материала, что часто зависит не только от взаимодействия преподавателей различных кафедр, но и методически некорректно закреплено учебными планами. Например, раздел «Электричество» курса физики может изучаться на втором курсе параллельно с электротехникой, а теория функции комплексного переменного иногда вообще исключается из курса математики. Естественно, что изучение этих разделов в курсе электротехники приходится начинать с самого начала, что неоправданно забирает драгоценное время у преподавателя и отвлекает студентов от сущности изучаемого материала в математическое описание процессов или, наоборот, уводит в рассмотрение мельчайших составляющих процесса или в изучение определений, понятий, основополагающих физических законов.

С другой стороны, необходимо отметить, что недостаточно своевременное и глубокое усвоение этих основополагающих технических понятий ставит электротехнические дисциплины в очень сложное положение, поскольку без необходимого математического аппарата описание физических процессов невозможно. Кроме того, принципы работы любых измерительных приборов, электрических машин, электронных устройств и приборов лежат в области физических основ электротехники,

а недостаточно глубокое рассмотрение полевых задач в курсе физики приводит к непониманию сущности основного материала.

В настоящее время сложилась ситуация, при которой все вопросы физических основ электротехники отнесены к третьей части ТОЭ, а первые части носят, в основном, расчетный характер, строятся на базе физики, и какое-либо углубление физических основ отсутствует. Преподаватель поставлен в жесткие рамки многократно уменьшенным количеством часов на изучение дисциплины. Это сказывается как на теоретической, так и на практической подготовке студентов, а физические основы в первых частях ТОЭ, а в курсе общей электротехники – тем более, практически растворяются в объеме расчетного материала, что, на взгляд автора, тоже не совсем правильно. Если на старших курсах часть расчетных методов, изучаемых в рассматриваемых дисциплинах, может и забыться, то понимание физических основ процессов, связанных с электрическими и магнитными полями, значительно упрощает изучение спецдисциплин. Ведь деятельность инженера будет лишь тогда по-настоящему плодотворной, когда он будет не только владеть современной техникой, но и правильно формулировать поставленную перед ним задачу. В свою очередь, правильность математической формулировки любой технической задачи зависит от понимания физической сущности происходящих процессов с заданием граничных и начальных условий – а это возможно только при глубоком понимании сути процессов.

Достойно сожаления, что в настоящее время образовательными стандартами пока не устранен факт применения в курсе физики внесистемных единиц измерения и обозначения физических величин. Так, например, в курсе электротехники студентов приходится переучивать обозначать источник ЭДС E вместо ε, напряжение U вместо u, линейную частоту переменного тока и напряжения f вместо ν, ток I вместо $\jmath$, что соответствует обозначению источника тока и т.д. Надо отметить, что указанные требования к обозначению величин введены ГОСТами и другими нормативами, в том числе ЕСКД, и преподаватели спецдисциплин прививают будущим инженерам навыки составления схем, чертежей, спецификаций и других графических и текстовых документов в соответствии с существующими стандартами. К этому же вопросу следует отнести проблему закрепления у студентов правильного обозначения переменных и постоянных величин токов, напряжений, ЭДС и источников тока: для постоянного тока – I, U, E, J, для переменного тока: мгновенные значения – i [$i(t)$], u [$u(t)$], e [$e(t)$], j [$j(t)$], амплитудные значения – I_m, U_m, E_m, J_m и действующие значения – I, U, E, J. Обозначение сопротивлений: активные – R или дополнительно r, реактивные – X_L, X_C, полные – Z. При использовании аппарата теории функции комплексного переменного следует четко обозначать комплексные величины, например, $\dot{U}$, $\underline{Z}$. Переход к изображению комплексной величины в виде $\boldsymbol{U}$ (полужирное начертание) ведет, в конечном счете, к полной потере обозначения. Чтобы приучить студентов к четкой и точной записи, надо быть самому примерным в этой области, вплоть до мелочей: применять только стандартные обозначения, строго различать большую букву от малой, заглавную от строчной и т.д. Единство и четкость в обозначениях очень важна, с методической точки зрения, и приводит к осознанному пониманию сущности записанного математическим языком физического процесса.

Последнее время широко применяются информационные технологии в обучении, что, с одной стороны позволяет значительно расширить круг и объем

изучаемого материала, с другой стороны – сделать его более наглядным и информативным. Однако, особенно в начале изучения курса, следует помочь студенту, используя самый активный метод иллюстрации – работу на доске. Следя за ходом выводов формул или построением схем и графиков, воспринимая взаимосвязь величин, студенты становятся участниками этой работы, повторяя ее в своих тетрадях и следуя за преподавателем по пути его мышления. Работа на доске предъявляет к преподавателю строгие требования организованности и четкости. Четкая, стройная запись на доске в определенном порядке позволяет студентам легче воспринимать материал даже из глубины аудитории. Надо отметить, что большинство лекционных аудиторий снабжено либо малоформатными досками, либо доски имеют плохие покрытия, значительно затрудняющие работу как лекторов, так и студентов. Убедившись, что студенты правильно воспроизводят и понимают излагаемый материал, можно переходить к другим видам восприятия, например, с использованием мультимедийной техники.

Отдельно хочется отметить важность организации самостоятельной работы студентов. Об этом немало говорится, однако реальная ситуация говорит о том, что объем самостоятельной работы студентов очень низок и задача преподавателя – максимально активизировать процесс обучения за счет расширения дополнительной внеаудиторной работы студентов. Эта работа, конечно, должна включать работу с учебниками, конспектами лекций, решение задач, курсовых и контрольных работ. Зачастую преподаватель наталкивается на серьезные трудности в этом вопросе, которые связаны с тем, что студенты не умеют организовать себя, не умеют самостоятельно изучить какой-либо материал, поэтому иногда приходится прибегать к «школярству» – четкому определению преподавателем домашних заданий для студентов. При этом задача преподавателя – «не переусердствовать» и равномерно распределить объем самостоятельной работы в течение курса. Результат, как правило, не заставляет себя ждать.

Большой проблемой, с методической точки зрения, является раздробление курса на части, каждую из которых ведет отдельный преподаватель. К сожалению, время научных школ прошло, и преподаватели-ассистенты сильно оторваны от преподавателей-лекторов, в результате – каждый из них выстраивает «свою линию» при изучении дисциплины. Преподаватель-лектор сильнее оторван от групп студентов, в которых он ведет занятия, а поправить что-либо на экзамене уже невозможно – теряется целостность и взаимосвязь теории и практики, формализуются внутренние связи между студентами и преподавателями, нарастает напряженность внутри коллектива преподавателей и, как следствие, страдает конечный результат. В данном случае очень важна мудрая кадровая политика, учитывающая интересы студентов и поддерживающая нормальный психологический климат в коллективе преподавателей.

Таким образом, при организации учебного процесса по основным электротехническим дисциплинам надо стремиться к тщательному планированию учебного процесса с методической точки зрения при использовании всех форм и методов активизации работы студентов.

СЕКЦИЯ № 4
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

Руководители секции: ***Камаев Валерий Анатольевич***
д-р техн. наук, профессор
Грошев Александр Иванович
канд. техн. наук, доцент

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ

Гришин С.С. – доцент
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском
Пивченко А.В. – ст. преподаватель
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском

Низкая энергоэффективность российской экономики приводит к высоким издержкам на свое энергообеспечение, способствует нарушению устойчивого энергоснабжения населения и предприятий страны. Это дало основание аналитикам поставить вопрос об энергетической безопасности России. Этот факт нашел свое отражение в разработанной Минэнерго в 2001 году «Энергетической стратегии России на период до 2020 г.», одобренной Правительством РФ. В этом документе в числе прочих приоритетов были определены: совершенствование топливно-энергетического баланса страны, структуры ТЭК, увеличение энергоэффективности экономики и энергосбережения. Все это объединено понятием «энергосберегающая политика». Десятилетия неэффективного использования энергоресурсов создали в России огромный потенциал энергосбережения, который по оценкам достигает 430 млн. тонн условного топлива или почти 50 % современного внутреннего энергопотребления.

Большое значение для осуществления намеченной стратегии имеет рациональное использование потребителем ТЭР. Одним из основных путей экономии энергоресурсов и повышения качества конечного продукта является модернизация различных тепловых агрегатов: печей, металлургических ковшей, котлового хозяйства и совершенствование режимов их работы. В настоящее время наблюдается тенденция к проведению такого рода работ на ведущих российских предприятиях, которые невозможны без выполнения соответствующих диагностических и наладочных мероприятий.

Одним из основных условий качественной работы теплового агрегата является обеспечение оптимального температурного режима его работы, кроме того, часто необходимо знать распределение температурного поля по сечению,

определять наиболее и наименее теплонапряженные области и участки. Для этого необходимо определять температуры на внутренних и внешних поверхностях устройств, а также по сечению.

Измерение температуры производится контактными, бесконтактными и комбинированными методами. Каждый из методов имеет свои особенности, достоинства и недостатки, но, в целом, современными средствами можно добиться высокой точности определения температуры. Наивысшую точность обеспечивает комбинированный метод, например использование контактных термоэлектрических преобразователей и пирометра.

Контроль температуры по сечению является более сложной задачей, решение которой, в ряде случаев, возможно при применении вычислительных средств и построении соответствующей математической модели. Для измерения при этом используют как контактные, так и бесконтактные средства. При бесконтактном контроле температуры по сечению используются некоторые средства диламетрии – использующие принцип изменения размеров рабочего тела, вызванного воздействием теплоты. Этот метод имеет ограничение по применению, например в проходных печах.

Классический метод контроля температуры заключается в применении протяженных термопар, заделываемых в соответствующих точках объекта измерения на необходимую глубину, при этом рабочий спай обеспечивает измерение температуры на данной глубине. Если измеряемый диапазон температур позволяет, то в ряд случаев более удобно использовать в качестве первичных устройств термосопротивления, которые более дешевы и удобны в практической работе.

Отличительной чертой современной термометрии является использование вместо вторичных устройств регистрации приборных комплексов, представляющих собой микропроцессорный регистрирующий многоканальный модуль аналогового ввода с памятью на десятки и сотни тысяч измерений. Обладая собственным дисплеем, модуль позволяет программировать его работу и отслеживать в режиме текущего и прошедшего времени изменения температуры, фиксируемые первичными преобразователями по всем каналам. Кроме того, некоторые комплексы содержат также блоки управления исполнительными устройствами, позволяющие осуществлять процесс регулирования параметрами. В состав таких комплексов входит программное обеспечение, позволяющее использовать компьютер для обработки и вывода результатов измерений, построения графических зависимостей, работы с таблицами измерений. Компьютеру также может быть передано управление процессом регулирования.

На отечественном рынке сейчас представлено большое количество зарубежной и отечественной измерительной техники. Как правило, отечественные разработки вполне способны конкурировать с импортной техникой, отличаясь при этом более демократичной ценой. Примером микропроцессорного модуля может служить программируемый регулятор температуры «Термодат-25Е1»,

выпускаемый Пермским приборостроительным предприятием «Системы контроля». Прибор может работать в режиме электронного самописца. Результаты записываются в энергонезависимую память, образуя архив данных. В архив записывается текущая дата и время. Измеренная температура выводится в виде графика на дисплей. Вход универсальный, возможно подключение термопар, термосопротивлений, датчиков с токовыми выходами. Диапозон измерения температуры от –100 до 2 500 °С. Подключение к компьютеру по интерфейсу RS485. Данные могут быть переданы на компьютер для дальнейшей обработки. Прибор содержит два протокола обмена с компьютером: собственный и Modbus (ASCII).

Прибор обеспечивает регулирование температуры по заранее установленной программе. Возможно задание до 20 программ.

Проблемы при использовании контактного метода возникают, если объект измерений не статичен, например, если объект измерений движется в проходной печи. В этом случае термопары должны проходить через всю печь, в то время как свободные концы термопар остаются за пределами рабочего пространства и подключены к регистрационному устройству. Это вызывает высокую стоимость измерений (ввиду большой длины термопар), сложность проведения измерений (постоянный контроль над процессом волочения термопар), наличие серьезных погрешностей измерений, связанных с большой длиной термопар.

Интересной альтернативой в этом случае может стать Автономный регистратор температур (АРТ), разработанный в МИСиС совместно с ООО «Металлэнергосервисом». В этом комплексе измерения проводятся короткими термоэлектрическими преобразователями, а регистрирующий прибор, записывающий результаты измерений, располагается рядом с объектом измерений. При этом он заключается в контейнер-термостат, который защищает прибор от воздействия высоких температур. Затраты и погрешности снижаются благодаря уменьшению длины термопар. В состав АРТ входят: внешняя система тепловой защиты, испарительная тепловая защита, внутренняя тепловая защита, измерительная система, приборный комплекс и система коммуникаций.

Внешняя часть защиты образована керамоволокнистой огнеупорной теплоизоляцией, выполненной из алюмосиликатного фетра. Она снижает температуру от 1 200-1 400 (на внешней поверхности изоляции) до 200-300 ºС (на внутренней поверхности).

Испарительная система защиты – это два контейнера из нержавеющей стали с двойными стенками. В межстеночное пространство контейнеров заливается вода. При нагреве контейнеров испарение воды происходит при 100 ºС (за счет поддержания в них давления на уровне 1 атм.). Пока вода из контейнеров полностью не испарится, температура внутри контейнера не превышает 100 ºС.

Внутренняя система тепловой защиты выполнена из базальтовых матов и предназначена для снижения температуры от 100 до 50-60 ºС. При этом обеспечивается устойчивая работа приборного комплекса.

При работе комплекса необходимо точно контролировать время нахождения АРТ в зоне высоких температур, чтобы избежать полного испарения

воды из контейнера. Через 20 мин после осушения испарительных контейнеров, температура в приборном контейнере повышается до 100 ºС, после чего прибор выходит из строя.

В качестве первичных устройств применяются гибкие бронированные хромель-алюминиевые кабельные термопары.

Приборный комплекс включает 2 автономных микропроцессорных регистрирующих прибора на 8 аналоговых входов каждый с памятью на 30 000 отсчетов. Каждый прибор имеет автономный блок питания 13,5 В. Модули соединены клеммной сборкой, к которой подсоединяются свободные концы термопар. Они также имеют автоматическую компенсацию изменяющейся температуры окружающей среды. Относительная ошибка измерений температуры модулем составляет 0,5 %.

Программирование производится перед проведением эксперимента (устанавливается интервал опроса термопар, их тип, порядок записи температур в флэш-ПЗУ).

Система обработки данных включает: программное обеспечение для извлечения информации из регистратора после эксперимента, трансформации записей регистратора в температуру, отображения полученных значений в виде таблиц и графиков.

Разработана серия таких регистраторов, время работы которых меняется от 1 часа (максимальная температура 1 350 ºС, 7 каналов измерения) до 20 часов (1 300 ºС, 14 каналов, емкость испарительного контура 85 л, габаритные размеры по наружной теплоизоляции 1 000 × 1 000 × 1 200 мм). В последнем случае защита пятиступенчатая (керамоволокнистая теплозащита – двухконтурная система испарительного охлаждения – воздушная прослойка – минеральная волокнистая теплоизоляция – вакуумный контур).

Для проведения контактных измерений на внешних поверхностях объектов, в отверстиях небольшой глубины могут также применяться малогабаритные переносные измерители температуры.

В качестве примера можно привести измерительные средства ООО «ТЕХНО-АС» г. Коломна: термометры контактные цифровые ТК-5.01 – ТК-5.07.

Для бесконтактного измерения температуры в настоящее время может быть использован широкий ряд пирометров, выпускаемых российскими и зарубежными предприятиями. Применение этого метода измерения температуры может отличаться относительно высокой методической ошибкой показаний, связанной с особенностями объекта измерений. Кроме того, этот метод дает ограничение по размеру самого нагреваемого объекта. В зависимости от удаления размеры объекта не могут быть меньше круга диаметров в несколько сантиметров.

Для измерения температур до 600 ºС, как правило, используется лазерная система наведения, при более высоких температурах – наведение с помощью оптического прицела. Примером может служить пирометр инфракрасный С-300 ООО «ТЕХНО-АС». Диапазон его измерений составляет от –20 до +600 ^{o}С.

Значительно уменьшить погрешность измерений удается при использовании систем, сочетающих в себе оба способа измерения температуры: бесконтактным способом, с помощью пирометра, и контактным, при помощи термоэлектрического преобразователя.

Основные выводы

1. Задача повышения энергоэффективности производства, экономии ТЭР, повышения качества конечного продукта – важнейшая задача современности, отвечающая государственной политике России.

2. Для осуществления этой задачи существует разнообразный парк современных средств и методов измерения, без использования которых невозможно достижение поставленной задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теплоэнергетика и теплотехника. Справочник / Под ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина. – М.: МЭИ, 2003.

2. Труды IV Международной научно-практической конференции «Печные агрегаты и энергосберегающие технологии в металлургии и машиностроении». – М.: МИСиС, 2008.

3. Пирометр инфракрасный С-300 «Фаворит». Руководство по эксплуатации, ООО «ТЕХНО-АС», г. Коломна, 2003 г.

4. Термометры контактные цифровые ТК-5.01, ТК-5.01м, ТК-5.01п, ТК-5.03, ТК-5.05, ТК-5.07.». Руководство по эксплуатации, ООО «ТЕХНО-АС», г. Коломна, 2004 г.

ПЕРЕРАБОТКА ШЛАМА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Гришин С.С. – доцент
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском
Пивченко А.В. – ст. преподаватель
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском

Современное производство порождает огромные массы отходов, которые затем перемещаются в отвалы и свалки, что приводит к отчуждению земель, загрязнению почвы, грунтовых вод.

Подобная проблема существует и на Волжском подшипниковом заводе (ВПЗ-15). Сточные воды завода несут смазочно-охлаждающую жидкость (СОЖ), которая содержит большое количество нефтепродуктов и твердого осадка, состоящего из абразивных материалов, частиц металлов (железо, легирующие элементы) и их оксидов, в том числе оксида хрома, который является достаточно токсичным.

Сточные воды завода подвергаются предварительной обработке на собственных очистных сооружениях. Эта предварительная обработка заключается

в первичном удалении железа магнитным способом и последующем отстаивании в специальных емкостях и бассейнах. В результате отстаивания сточные воды разделяются на три фракции.

Верхняя фракция представляет собой нефтепродукты (которые входят в состав СОЖ), загрязненные включениями шлама. Поскольку основу СОЖ составляет трансформаторное масло, то в дальнейшем будем называть верхнюю фракцию маслом.

Средняя фракция представляет собой воду, загрязненную частицами шлама, нефтепродуктами и растворенными солями (в основном кальция и натрия). Ее передают для дальнейшей переработки на очистные сооружения азотно-кислородного завода.

Нижняя фракция (шлам) состоит из твердого осадка, густо пропитанного нефтепродуктами. Несмотря на то, что эта фракция оседает на дно бассейна, гидрофобность масла достаточно велика, поэтому сам шлам обладает относительно невысокой влажностью (10-12 %).

Примерный состав шлама: твердый осадок – 62 %, влажность – 12 %, нефтепродукты – 26 %.

Шлам вывозится в отвалы. В дальнейшем земля под отвалами не поддается восстановлению и полностью выходит из оборота.

Предлагается следующий путь решения проблемы. Шлам сжигается в топочном устройстве «в кипящем слое». При этом нефтепродукты полностью выгорают, частично покрывая энергозатраты на собственные нужды предприятия. Оставшийся после сжигания зольный остаток будет нести уже меньшую экологическую нагрузку, чем исходный шлам, при захоронении его в отвалах (меньший объем, отсутствие нефтепродуктов в почве и т.д.). Возможные пути утилизации зольного остатка будут рассмотрены ниже.

Необходимо отметить, что теплота сгорания шлама составляет 4…5 МДж/кг, что почти в два раза ниже, чем у горючих сланцев.

Проводившиеся эксперименты подтвердили возможность самостоятельного горения шлама при хорошо организованном процессе горения. Металлический стакан загружался шламом примерно на 1/3 объема и устанавливался на нагреватель. Температура шлама контролировалась с помощью термопары и милливольтметра. Внутрь стакана вертикально опускалась медная трубка. Ее конец был погружен в шлам почти на всю глубину, но не касался днища стакана. По трубке подавался воздух. Подача воздуха регулировалась вентилем, давление – редуктором.

В стакан периодически опускался запальный фитиль. Когда температура шлама в стакане достигала 170-180 °С, происходило воспламенение. Далее нагреватель убирался. Процесс горения без подвода дополнительного тепла продолжался еще около минуты, затем прекращался.

Известны опытные установки «с кипящим слоем» для сжигания осадков сточных вод, которые используют для дожигания природный газ или другие дополнительные источники тепла, например, угольную пыль. Проведенные расчеты

и эксперименты дают основание полагать, что удастся обеспечить сжигание шлама без использования газификации или обогащения шлама угольной пылью.

Сжигание отходов производства в кипящем слое имеет ряд преимуществ:

– позволяет сжигать низкокалорийные отходы с высокой зольностью и влажностью, ранее топливами не считавшиеся;

– дает возможность обезвредить вредные отходы и сократить их объем;

– добавление некоторого количества известняка (при температуре горения ниже 1 100 °С) позволяет связать серу и значительно снизить образование ее оксидов в продуктах сгорания;

– горение ведется при низких температурах (700-1 000 °С), что исключает окисление азота воздуха и ведет к снижению общего выхода токсичных оксидов азота.

Работы по утилизации зольного остатка могут вестись в следующих направлениях.

1. Использование зольного остатка в качестве инертной массы (наполнителя) при изготовлении керамзита, красного кирпича, цемента, бетона и т.д.

2. Вторичная переработка зольного остатка, которая могла бы включать в себя:

а) отделение оксидов железа магнитным способом, изготовление окатышей с их последующей переработкой на специализированном металлургическом комбинате;

б) отделение частиц абразивных материалов для повторного изготовления абразивных инструментов (шлифовальных кругов, наждачной бумаги, притирочных паст и т.д.).

Комплексный подход к решению проблемы позволил бы полностью обходиться без отходов.

СЕКЦИЯ № 5
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Руководители секции: ***Раменский Павел Петрович***
управляющий директор филиала
«Волгоградская генерация» ОАО ЮГК-ТГК-8»
Терентьев Геннадий Федорович
канд. техн. наук, доцент

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ЗОН ПЕЧИ ПРИ СИНТЕЗЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ

Ягов В.В. – д-р техн. наук, профессор
«Московского энергетического института
(технического университета)»
Грошев А.И. – канд. техн. наук, доцент
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском
Староверова Г.С. – инженер
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском
Закожурников С.С. – студент
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском

Основным методом промышленного производства карбида кремния является способ, предложенный Ачесоном, заключающийся в восстановлении SiO_2 углеродом в электрической керновой печи сопротивления. Протекающие при этом химические реакции можно представить суммарным уравнением

$$SiO_2 + 3C = SiC + 2CO.$$

По мере удаления от керна температура снижается и в различных зонах печи наблюдаются промежуточные реакции. Сначала образуется моноокись кремния по реакции

$$SiO_2 + C = SiO + CO,$$

которая восстанавливается углеродом до кремния

$$SiO + C = Si + CO,$$

а затем пары кремния вступают во взаимодействие по реакции

$$Si + C = SiC.$$

Одновременно происходит образование SiC непосредственно путем восстановления моноокиси кремния углеродом

$$SiO + C = SiC + CO.$$

Механизм образования карбида кремния существенным образом зависит от температуры. При температурах более 1500 °С начинается испарение и диффузия кремнезема со свободных поверхностей зерен кварца. Пары SiO_2 и SiO диффундируют через пары шихты и осаждаются на частицах углерода. Реакция восстановления с выделением окиси углерода и образованием карбида кремния происходит между твердым углеродом и кремнеземом, адсорбированным на его поверхности.

В местах контакта твердых частиц SiO_2 и углерода реакция происходит лишь в начальной стадии, так слой SiC прерывает этот контакт. Поэтому определяющую роль при синтезе SiC играет взаимодействие твердого углерода с газообразной моноокисью кремния. Дальнейший ход образования SiC лимитируется диффузией атомов углерода и кремния через слой карбида кремния.

Образование SiC ведет к повышению теплопроводности шихты и прогреву слоев в зоне, прилегающей к керну, до 2700÷2800 °С. Переход SiC в газовую фазу по реакциям:

$$SiC + 2SiO_2 = 3SiO + CO,$$

$$SiC + SiO = 2Si + CO.$$

Последняя реакция идет в наиболее горячей части печи, а образовавшийся газообразный кремний диффундирует в область более низких температур, где эта реакция идет в обратном направлении:

$$2Si + CO = SiC + SiO,$$

что содействует переносу SiC через газовую фазу и росту крупных кристаллов карбида кремния.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод, что при производстве карбида кремния важным фактором является температурный режим различных зон печи.

В промышленных керновых печах сопротивления синтез кремния идет в слое реакционной шихты, состоящей в основном из кварцевого песка и нефтяного кокса с добавкой древесных опилок и поваренной соли.

В ходе компании максимальная температура (2800-2900 °С) достигается в электропроводном керне, который готовится путем набивки из кокса. Керн при разогреве печи обладает меньшим сопротивлением, чем шихта. По окончании компании в печи образуются продукты, располагающиеся концентрическими зонами вокруг керна и отличающиеся своим химическим и фазовым составом (рис. 1). Верхний слой – возвратная шихта – играет роль теплоизолятора. Дальше идет слой силоксикона (частично прореагировавшая шихта). Под слоем силоксикона находится слой сростков. Затем идет слой аморфа (мелкокристаллический карбид кремния).

Под слоем аморфа располагается слой карбида кремния. Его толщина в различных частях печи различна: наибольшая – с боков блока и сверху, наименьшая – снизу. Такие различия объясняются тепловым режимом плавки.

После слоя карбида кремния идет слой графита. Графит образуется в результате разложения карбида кремния.

В центре концентрических слоев выше перечисленных продуктов расположен керн. Загруженный в керн новый нефтяной кокс под действием высокой температуры (2500 °С) графитируется и используется в последующих компаниях.

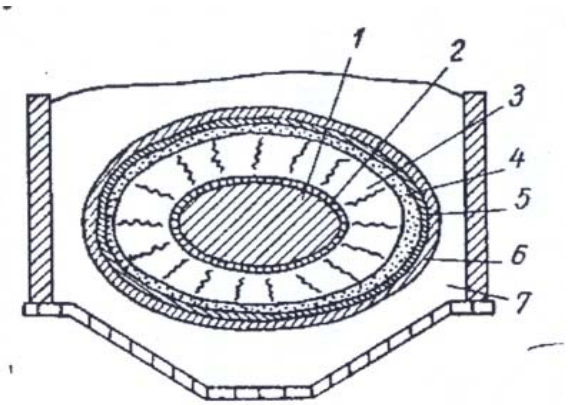


Рис. 1. Разрез печи для производства карбида кремния после отключения:
1 – керн; 2 – слой графита; 3 – карбид кремния; 4 – аморф;
5 – сростки; 6 – силоксикон; 7 – возвратная шихта

Для оценки влияния различных факторов на процесс синтеза (карбида кремния) на ОАО «ВАЗ» был проведен эксперимент.

На процесс синтеза карбида кремния влияют различные факторы: укладка и размеры керна; физический и химический состав реакционной и теплоизоляционной шихты и геометрия ее загрузки; режим плавки (мощность, количество затраченной электроэнергии) и другие.

Был проведен эксперимент по определению температурных полей промышленной печи (завода). В центре печи на расстоянии 10, 30 и 60 см от керна были установлены три термопары (хромель-алюмель). Плавка продолжалась 27 часов. В результате испытаний первая термопара вышла из строя (в связи с поломкой одного из приборов термодата), а динамика температурных полей второй и третей термопары показана на рис. 2.

Данные термопары могут выдерживать эксплуатацию до ~1300 °С. Эксперименты показали, что термопара № 2 указывает значительное увеличение температуры зоны (30 см) до 1100 °С после 12 часов плавки, а после 18 часов плавки температура очень плавно изменяется, практически остаётся неизменной. Термопара № 3 указывает, что температура остаётся постоянной до 22 часов процесса плавки, а затем повышается до 400 °С.

Данный эксперимент показал, что образование кремния происходит в зоне промышленной печи в пределах расстояния $0 \div 25 \div 30$ см от керна. Однако динамика процесса образования карбида кремния в зависимости от температурных полей по данным измерениям не может быть исследована. Необходимо установить термопары на расстоянии ~1 и ~15 см от керна, что позволит

установить динамику процесса разогрева реакционной печи и создать расчетную программу моделирования температурных режимов плавки для оптимального выхода карбида кремния.

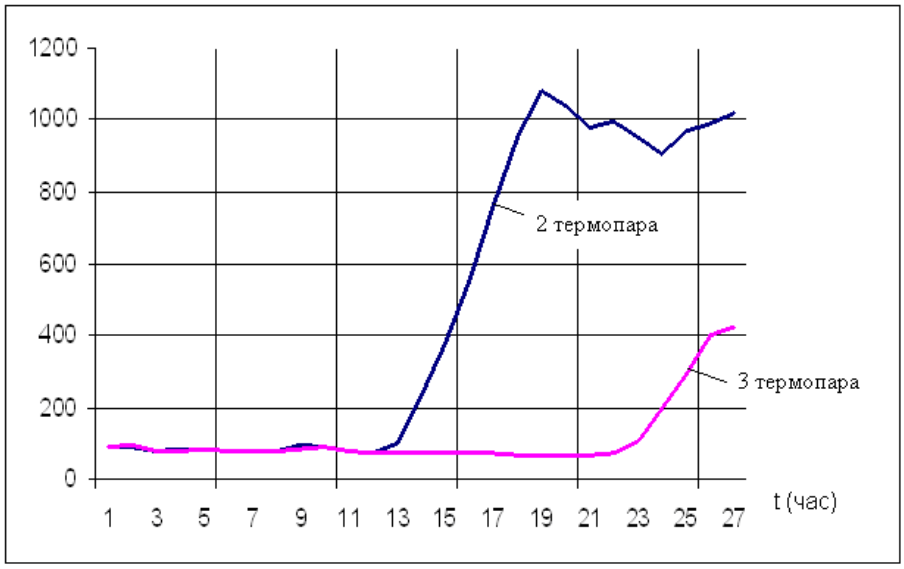


Рис. 2. Распределение нестационарного температурного режима в процессе плавки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гнесин Г.Г.* Карбидокремниевые материалы. – М.: Металлургия, 1977. – 216 с.

2. *Бережной А.С.* Кремний и его бинарные системы. – Киев: Изд-во академии наук Украинской ССР, 1958.

3. Карбид кремния (строение, свойства и области применения). – Киев: Академия наук Украинской ССР. Институт проблем материаловедения, 1966.

СЕКЦИЯ № 6
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Руководители секции: ***Аракелян Эдик Койрунович***
д-р техн. наук, профессор
Шилин Александр Николаевич
д-р техн. наук, профессор

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СИНТЕЗА И АНАЛИЗА ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Шилин А.Н. – д-р техн. наук, профессор
Волгоградского государственного технического университета
Гиркин М.В. – аспирант
Волгоградского государственного технического университета

В настоящее время в энергетике еще используются морально устаревшие аналоговые системы автоматического управления. Актуальной проблемой в условиях развития энергетики является модернизация устаревшего оборудования, в частности замена аналоговых систем управления на цифровые системы. Цифровые системы управления обладают рядом преимуществ в сравнении с аналоговыми регуляторами. При внедрении цифровых систем управления необходим их расчет и настройка. Однако параметры существующих систем устройств управления технологическими процессами подобраны в результате многолетней эксплуатации. В этом случае целесообразно использовать информацию, которая существует в аналоговых системах в виде электронных схем. Поэтому была разработана автоматизированная система синтеза и анализа цифровых фильтров по аналоговым моделям.

В качестве теоретической основы синтеза цифровых регуляторов использован аппарат z-преобразования (преобразования Лорана). Положительным свойством аппарата z-преобразовния, применительно к синтезу цифровых фильтров, является тот факт, что структура фильтра может быть определена непосредственно по передаточной функции $W(z)$, которая, в свою очередь, может быть получена из передаточной функции в преобразовании Лапласа $W(p)$ аналогового регулятора. Представив имеющийся аналоговый регулятор в виде схемы замещения и определив его передаточную функцию, можно синтезировать структуру требуемого цифрового регулятора. Подобный подход предоставляет возможность для автоматизации всего процесса проектирования цифрового регулятора по аналоговым моделям в виде схем замещения.

Была разработана программа для автоматизированного синтеза и анализа цифровых регуляторов. В качестве исходных данных в программе используются модели аналоговых регуляторов, представленных в виде передаточной функции

в преобразовании Лапласа – $W(p)$. На рис. 1 представлено окно ввода передаточной функции в преобразовании Лапласа.

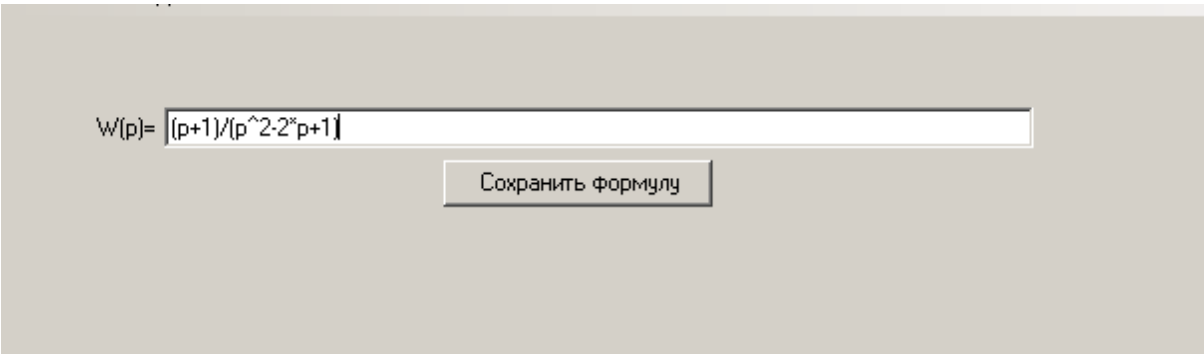


Рис. 1. Ввод передаточной функции

Также пользователь может использовать в качестве регулятора для анализа один из заданных в системе типовых регуляторов, в этом случае пользователь определяет лишь параметры входящих в него элементов. Программа имеет встроенный транслятор, который позволяет передаточную функцию $W(p)$ заданного пользователем аналогового регулятора автоматически преобразовать в передаточную функцию в z-области. По полученной таким образом передаточной функции автоматически выполняется построение цифрового фильтра и определение его коэффициентов. Программа позволяет построить цифровой фильтр как в канонической форме, так и в рекурсивной. Поскольку входными данными для этой программы являются аналоговые модели реальных устройств, то возможно получение только цифровых фильтров с бесконечной импульсной характеристикой, в программе не предусмотрено возможности построения трансверсальных цифровых фильтров (фильтров с конечной импульсной характеристикой). В качестве результата синтеза пользователю отображается схема структуры фильтра и весовые коэффициенты ветвей. Результаты синтеза цифрового фильтра представлены на рис. 2 и 3.

Программа предоставляет возможности для анализа построенных цифровых фильтров. В качестве первого инструмента анализа пользователю предоставляется возможность моделирования поведения цифрового фильтра с использованием различных видов входных сигналов с изменяемыми параметрами.

При реализации цифровых фильтров на управляющих ЭВМ часто возникают ограничения, которые связаны со спецификой встраиваемых процессоров и микроконтроллеров. Одним из таких ограничений является разрядность вычислительного устройства управляющей ЭВМ. Разрядность вычислительных устройств современных ЭВМ общего назначения очень велика, что не позволяет оценить погрешность вычислений цифрового фильтра, вызываемую ограничениями разрядности. В разработанной программе синтеза и анализа цифровых фильтров предусмотрена возможность для исследования влияния разрядности вычислительных устройств на поведение цифрового фильтра. Таким образом, автоматизированная система учитывает ограничения управляющих ЭВМ,

разрядность которых обычно в 2-3 раза меньше, чем разрядность современных ЭВМ общего назначения.

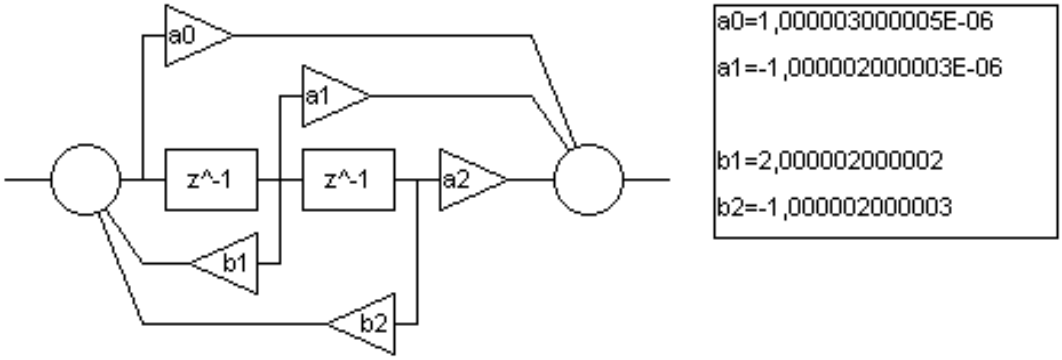


Рис. 2. Результат синтеза канонического цифрового фильтра

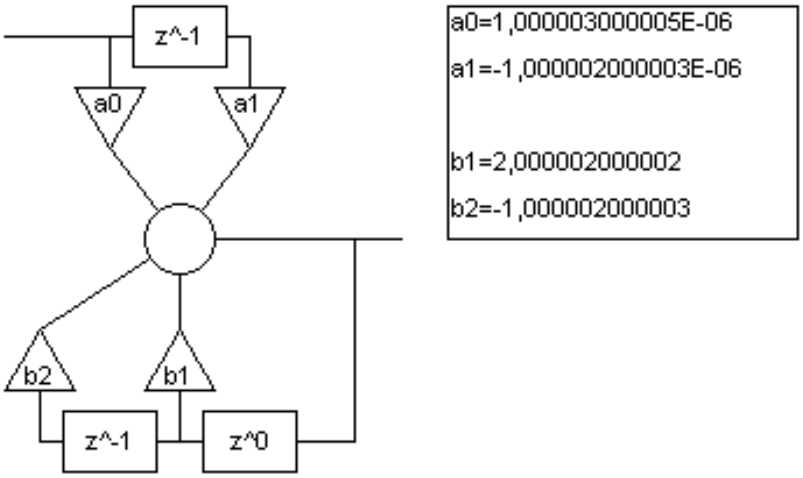


Рис. 3. Результат синтеза рекурсивного цифрового фильтра

Разработанная автоматизированная система проектирования цифровых регуляторов позволяет непосредственно по электрическим схемам аналоговых регуляторов получать в автоматическом режиме структурную схему цифрового регулятора с параметрами без использования математических преобразований. Возможности анализа, встроенные в программу, позволяют исследовать поведение цифрового регулятора до его реализации на управляющей ЭВМ, а также исследовать погрешности, возникающие из-за ограничения разрядности вычислений цифровых управляющих устройств. Эта система позволит значительно сократить трудоемкость и время внедрения современных цифровых систем управления технологическими процессами в энергетике.

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ НАГРЕВА МЕТАЛЛА В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

Алёхин А.Г. – канд. техн. наук, доцент
Волгоградского государственного технического университета
Кухтик М.П. – магистрант
Волгоградского государственного технического университета

Целью данной работы является разработка алгоритма оптимального управления режимом нагрева металла в методической печи. Оптимальные режимы нагрева металла, предусматривающие минимизацию затрат топлива на нагрев, ставят своей целью расчёт и поддержание такого режима нагрева каждой заготовки, который позволит получить конечную продукцию заданного качества и количества при минимальных удельных затратах на нагрев. Поэтому в качестве критерия оптимизации предлагается принять удельный расход топлива на печь, подлежащий минимизации.

Рассмотрим сначала постановку задачи о симметричном нагреве бесконечной пластины заданной толщиной S_0 с минимизацией затрат топлива на нагрев. Такая постановка задачи в ряде случаев соответствует практическим условиям нагрева. Например, в методической печи тепловой поток в заготовках от стороны, обращенной к факелу, значительно превосходит тепловой поток от заготовки к заготовке. Температурное поле в каждой заготовке, таким образом, можно рассматривать как одномерное.

Математическое описание процесса нагрева одномерного массивного тела в методической печи представим в виде системы уравнений, состоящей из одномерного уравнения теплопроводности и граничных условий.

Задано также начальное распределение температур в пластине (при $\tau = 0$) и распределение температур в конце нагрева (при $\tau = T$).

Инерционный характер теплообмена между факелом (греющей средой $t_{гс}(\tau)$) и расходом топлива представляется инерционным звеном первого порядка с постоянной времени T_0. Дифференциальное уравнение, связывающее температуру греющей среды $t_{гс}(\tau)$ и характеристическую температуру управления $U(\tau)$, имеет вид

$$\frac{dt_{гс}}{d\tau} = \frac{1}{T_0}\left[U(\tau) - t_{гс}(\tau)\right], \qquad (1)$$

где $U(\tau)$ – текущее значение характеристической температуры, пропорциональное расходу топлива, $U(\tau) = k\,V_г(\tau)$; $V_г(\tau)$ – текущий расход топлива; k – коэффициент передачи по каналу расход топлива – характеристическая температура.

Поставим следующую вариационную задачу: необходимо найти такое распределение тепловых нагрузок по зонам методической печи, чтобы выполнялось условие обеспечения заданного качества нагрева при минимизации затрат топлива на нагрев.

Критерий оптимальности процесса нагрева представим функционалом вида

$$I = \int_0^T U(\tau)^2 d\tau \to \min. \qquad (2)$$

Для решения поставленной задачи по нахождению оптимального режима нагрева металла был использован принцип максимума Л.С. Понтрягина, для чего введена функция Гамильтона H, в которой $\varphi(S, \tau)$, $\varphi_{гс}(\tau)$, $\varphi(x, \tau)$ играют роль сопряжённых переменных и определяются из дифференциальных уравнений.

Необходимое условие оптимальности определяется следующей теоремой (принцип максимума): если допустимый режим нагрева доставляет минимум функционалу (2), то он удовлетворяет условию максимума функции H по U, то есть

$$\frac{\partial H}{\partial U} = 2U(\tau)\varphi_0 + \frac{\varphi_{гс}}{T_0} = 0, \qquad (3)$$

где $\varphi_0 = -1$ – постоянный коэффициент.

Отсюда, оптимальный режим нагрева $U_{опт}(\tau)$ выразится

$$U_{опт}(\tau) = \frac{\varphi_{гс}}{2T_0}. \qquad (4)$$

Совместное интегрирование системы уравнений позволит найти оптимальное управление по формуле (4).

Так как граничные условия заданы в виде функций, то есть необходимо найти решение задачи с фиксированными концами траектории, то для получения частного решения необходимо определить начальные значения функций $\varphi_{гс}(0)$ и $\varphi(x, 0)$.

Предлагается методика для определения величин $\varphi_{гс}(0)$ и $\varphi(x, 0)$, которая основывается на поиске таких значений $\varphi_{гс}(0)$ и $\varphi(x, 0)$, чтобы отклонение рассчитанного конечного состояния заготовки от заданного сводилось бы к минимуму, то есть

$$J = \int_0^X \left| t^{зад}(x,T) - t^{д}(x,T) \right| dx \to \min, \qquad (5)$$

где $t^{зад}(x, T)$ – заданное распределение температур по сечению заготовки в конце назначенного времени нагрева T; $t^{д}(x, T)$ – действительное распределение температур по сечению заготовки при выбранном режиме нагрева в конце назначенного времени T.

Поиск минимума критерия J производится методом Нелдера-Мида.

Таким образом, алгоритм расчёта функции оптимального управления будет следующий.

1. Задаемся начальными условиями $\varphi_{гс}(T)$ и $\varphi(x, T)$ для соответствующей системы уравнений.

2. Решаем эту систему и по формуле (4) определяем функцию оптимального управления для выбранных начальных условий системы сопряжённых переменных.

3. Решаем уравнение (1) и определяем функцию изменения температуры греющей среды.

4. Решаем систему уравнений, описывающую процесс нагрева, и определяем функцию распределения температуры по сечению заготовки в конце назначенного времени нагрева T.

5. Находим значение функционала (5).

6. По выбранному алгоритму поиска минимума функционала (5) определяем направление изменения и значение начальных условий $\varphi_{гс}(T)$ и $\varphi(x, T)$ для системы сопряжённых переменных и переходим к пункту 1.

7. Если шаг изменения начальных условий в алгоритме поиска минимума функционала меньше заданного, то поиск прекращаем.

Недостатком данного алгоритма является то, что он не учитывает нагрев заготовок смешанного посада, когда в печь сажают заготовки с различными начальными тепловыми состояниями, и когда среди заготовок горячего посада находится несколько заготовок холодного посада. На практике эта проблема частично решается комплектованием заготовок с близкими тепловыми состояниями в блоки, однако даже в этом случае разброс температур в садке на выходе из печи достигает 20 ºС, что снижает качество продукции и может отрицательно повлиять на работу прокатного стана. Для обеспечения заданного нагрева всех заготовок и недопущения простоя стана предлагается синтезировать робастную систему управления, то есть такую систему, при малом изменении параметров которой её свойство качественно не меняется.

Полученные уравнения оптимального управления режимом нагрева металла в методической печи позволяют построить оптимальный график изменения температуры греющей среды, температуры поверхности и температуры центра нагреваемой заготовки. Общая закономерность полученных в процессе расчёта результатов позволяет сделать вывод, что при наличии резерва времени на нагрев заготовки, интенсификация нагрева должна происходить в конце назначенного времени на нагрев, что значительно отличается от общепринятого режима нагрева, когда для обеспечения максимальной производительности печи интенсификация нагрева осуществляется сразу в начальный период заданного интервала времени нагрева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Малый С.А.* Экономичный нагрев металла. – М.: Металлургия. 1967. – 192 с.

2. *Болтянский В.Г.* Математические методы оптимального управления. – М.: Наука, 1969. – 408 с.

3. *Понтрягин Л.С.*, *Болтянский В.Г.*, *Гамкрелидзе Р.В.* и др. Математическая теория оптимальных процессов. – М.: Наука, 1969. – 384 с.

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ РЕКТИФИКАЦИИ

Агринская С.А. – ассистент
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском
Филатова С.О. – студентка
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском

В настоящее время большое значение приобретают проблемы повышения экономической эффективности ректификационных установок, применяемых для разделения жидких смесей на чистые компоненты. В современных ректификационных установках весьма остро стоит проблема адаптивного управления и непрерывного получения информации о свойствах параметров технологического процесса для функционирования алгоритмов адаптации. В связи с этим необходимым элементом АСУ становятся математические модели объекта управления, участвующие в алгоритмах адаптации и позволяющие оперативно прогнозировать текущее состояние объекта управления.

В качестве объекта управления выбрана ректификационная установка для очистки метил-трет-бутилового эфира (МТБЭ) от примеси изобутана.

Целью управления процессом является достижение заданной четкости разделения исходной смеси (содержание примесей в МТБЭ не более 0,9 процента).

В результате анализа теплового и материального балансов ректификационной установки установлено, что состав и температура жидкости на всех тарелках колонны связаны между собой. Изменение этих параметров в любой точке распространяется на всю колонну по истечении времени запаздывания. Поэтому невозможно независимо регулировать эти параметры.

Таким образом, для достижения заданной четкости разделения исходной смеси необходимо поддержание строго определенного температурного режима по всей высоте колонны.

На рис. 1 показаны две кривые изменения температуры по высоте колонны $T_м$ и $T_э$. Кривая $T_э$ – экспериментальная температурная кривая – строится на основе показаний датчиков температур, установленных в кубе колонны, а также на следующих тарелках: пятой, шестнадцатой, двадцать второй, двадцать восьмой и тридцать третьей. Кривая $T_м$ – модельная температурная кривая, то есть построенная по математической модели.

Таким образом, задачей управления становится максимальное приближение экспериментальной температурной кривой $T_э$ к теоретической $T_м$, а в качестве критерия управления можно принять минимизацию суммы квадратов отклонений значений экспериментальных данных и данных, полученных на основе математической модели.

Так как ректификационная установка конструктивно делится на две части (исчерпывающую и укрепляющую), то оптимальная работа всей колонны зависит

от оптимальной работы каждой из частей. Тогда критерий управления для куба колонны можно представить как

$$\eta^{\text{куб}} = \sum_{i=1}^{4} \left(T_{\text{м}i} - T_{\text{э}i}\right)^2 \to \min, \tag{1}$$

а критерий управления для верха колонны

$$\eta^{\text{верх}} = \sum_{j=1}^{3} \left(T_{\text{м}j} - T_{\text{э}j}\right)^2 \to \min, \tag{2}$$

где $T_{\text{м}i}$, $T_{\text{м}j}$ – модельные температурные кривые исчерпывающей и укрепляющей частей колонны; $T_{\text{э}i}$, $T_{\text{э}j}$ – экспериментальные температурные кривые исчерпывающей и укрепляющей частей колонны.

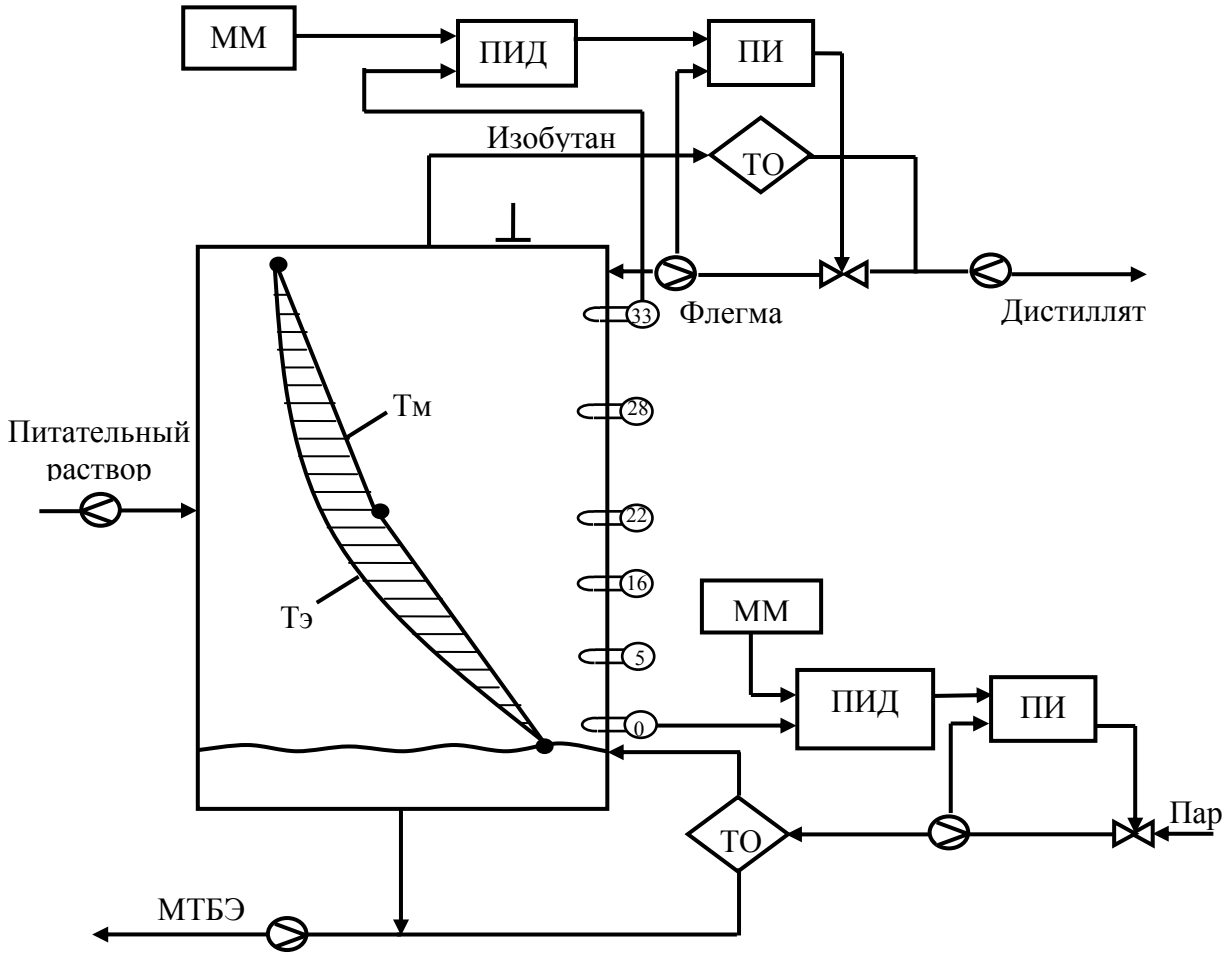


Рис. 1. Колонна ректификации

В формуле (1) суммирование производится по i от одного до четырех, а в (2) по j от одного до трех, так как в исчерпывающей части колонны мы располагаем показаниями четырех, а в укрепляющей части трех датчиков температур.

Для удобства получения математической модели разобьем ректификационную колонну на участки, границами которых будут являться те тарелки, на которых установлены термопары. Если каждый такой участок описать обыкновенным дифференциальным уравнением, то математическую модель всей колонны можно представить в виде системы дифференциальных уравнений, в которой индекс каждой величины соответствует номеру тарелки, на которой установлена термопара.

Для определения коэффициентов усиления и постоянных времени каждого уравнения, входящего в систему, рассмотрим каждый участок колонны как отдельный объект управления. При этом воспользуемся методом встречного счета, согласно которому исчерпывающая часть колонны рассматривается в направлении от куба к сечению питания, а укрепляющая часть – от верха колонны также к сечению питания

Таким образом, после обработки данных активного и пассивного экспериментов, исчерпывающую часть колонны можно представить в виде системы дифференциальных уравнений (3), а система дифференциальных уравнений (4) описывает укрепляющую часть колонны:

$$\begin{cases} 3{,}6\dfrac{\partial Y_1(t)}{\partial t}+Y_1(t)=36{,}8\,X_1(t-0{,}22) \\ 29{,}453\dfrac{\partial Y_2(t)}{\partial t}+Y_2(t)=0{,}871\,Y_1(t-7{,}35) \\ 1{,}253\dfrac{\partial Y_3(t)}{\partial t}+Y_3(t)=0{,}6852\,Y_2(t-0{,}16) \\ 56{,}05\dfrac{\partial Y_4(t)}{\partial t}+Y_4(t)=0{,}4588\,Y_3(t-21{,}6) \end{cases} \tag{3}$$

$$\begin{cases} 13{,}5\dfrac{\partial Y_5(t)}{\partial t}+Y_5(t)=19{,}6\,X_2(t-1{,}34) \\ 4{,}919\dfrac{\partial Y_6(t)}{\partial t}+Y_6(t)=1{,}146\,Y_5(t-0{,}91) \\ 34{,}373\dfrac{\partial Y_7(t)}{\partial t}+Y_7(t)=0{,}4481\,Y_6(t-483) \end{cases} \tag{4}$$

Основным условием использования в дальнейшем полученной математической модели является ее проверка на адекватность, которая может быть осуществлена путем применения к модельной и экспериментальной кривым (рис. 2) критерия Фишера [1].

Функция статистики для оценки адекватности определяется как

$$F=\frac{\max(D_Тэ, D_Тм)}{\min(D_Тэ, D_Тм)}=1{,}032\,.$$

Критическое значение статистики $F_{кр} = 1{,}46$ выбирается по соответствующим таблицам в зависимости от уровня значимости гипотезы $q = 0{,}05$ и степеней свободы $\nu 1 = \nu 2 = 4$.

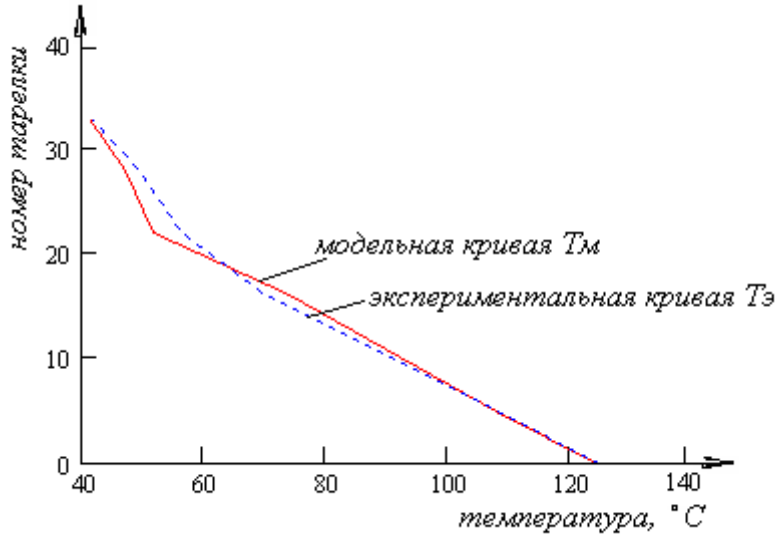


Рис. 2. Модельное и экспериментальное распределение температуры по высоте колонны

Гипотеза об адекватности математического описания экспериментальным данным считается подтвержденной, так как выполняется неравенство $F \le F_{кр}$.

На примере исчерпывающей части ректификационной колонны рассмотрим различные системы автоматического регулирования концентрации кубового остатка.

В настоящее время для регулирования данной величины технологического процесса используется простой алгоритм с одной обратной связью, но повышение требований к конкурентоспособности готовой продукции, а следовательно, к ее качеству делает актуальной задачу разработки алгоритмов управления, обладающих более сложной структурой.

Одним из эффективных алгоритмов управления процессом ректификации является каскадное регулирование концентрации кубового остатка (рис. 4).

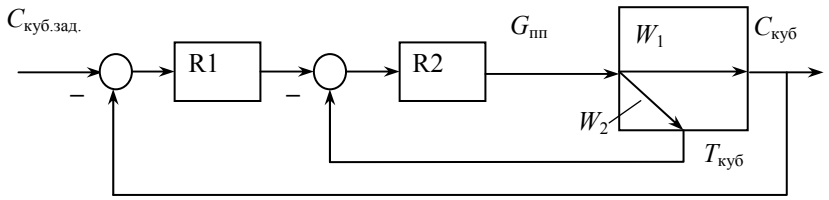


Рис. 4

При каскадном управлении выделяется внутренний контур регулирования температуры и внешний контур регулирования концентрации кубового остатка. Регулятор R2 стабилизирует температуру, а командное воздействие этому

регулятору формирует регулятор R1 и отрабатывает сигнал рассогласования $C_{куб.зад} - C_{куб}$.

В качестве регулятора основной величины используется ПИД-регулятор, в качестве регулятора вспомогательной величины ПИ-регулятор. $W_2(p)$ – передаточная функция объекта управления по каналу «расход перегретого пара – температура куба».

Рассмотрим систему автоматического регулирования концентрации кубового остатка с компенсацией по концентрации питания (рис. 3).

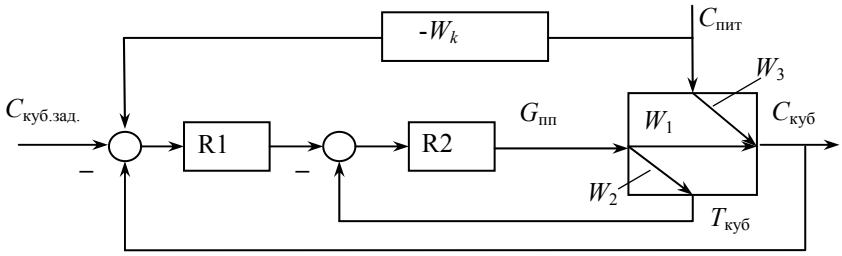


Рис. 3

Здесь на вход регулятора R1, помимо отклонения регулируемой величины (концентрации кубового остатка), подается сигнал от возмущения (концентрации питания), сформированный надлежащим образом в блоке компенсации возмущения с передаточной функцией $W_k(p)$. На вход регулятора температуры R2 поступает разница между текущим значением температуры кубового остатка и заданным, сформированным регулятором концентрации R1. $W_1(p)$ – передаточная функция объекта управления по каналу «расход перегретого пара – концентрация кубового остатка», $W_2(p)$ – передаточная функция объекта управления по каналу «расход перегретого пара – температура кубового остатка», $W_3(p)$ – передаточная функция объекта по каналу «концентрация питания – концентрация кубового остатка», $R_1(p)$, $R_2(p)$ – передаточные функции регуляторов, $W_k(p)$ – передаточная функция компенсатора, рассчитанная из условия идеальной компенсации.

Переходные процессы систем регулирования представлены на рис. 5.

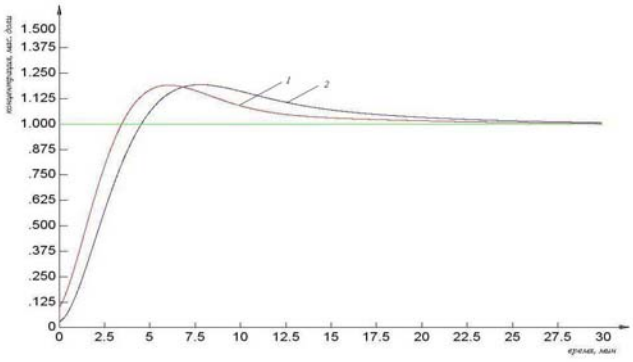


Рис. 5

Проанализировав графики, можно сделать следующие выводы: обе системы управления имеют равное значение перерегулирования, однако, с точки зрения времени переходного процесса и скорости регулирования, наиболее эффективной является система управления 1 с компенсацией возмущения.

АЛГОРИТМЫ, ПОВЫШАЮЩИЕ НАДЁЖНОСТЬ АСУ ТП

Севастьянов Б.Г. – доцент
Волжского политехнического института (филиал)
Волгоградского государственного технического университета

В данной работе приведены фрагменты алгоритмов, позволяющие реализовывать системы автоматического контроля и регулирования повышенной надёжности. Повышение надёжности осуществляется введением в алгоритмы дополнительного анализа информации, поступающей с датчиков и от оператора. Предлагаемые алгоритмы позволяют распознавать сбои и отказы в измерительных каналах, контролировать и блокировать некорректные действия оператора.

В докладе представлены алгоритмы, которые являются неотъемлемой частью большинства АСУ ТП сложными объектами в энергетике, нефтехимии и нефтепереработке. Данные алгоритмы рассмотрены применительно к системе сигнализации и к системам дискретного и аналогового управления. Речь будет идти только о программной реализации алгоритмов. Систему сигнализации (или алгоритм) назовём блоком сигнализации.

1. СИГНАЛИЗАЦИЯ

В каждой автоматизированной системе управления имеется сигнализация нарушений технологических границ [0]. Функции простого блока сигнализации сводятся к следующим моментам: анализ полученной информации, при нарушении текущим значением параметра верхней или нижней границы формирование звуковой и световой сигнализации. В момент нарушения свет мигает. После нажатия кнопки «Сброс» или квитирования звук сбрасывается, а свет становится ровным и сохраняется до возврата значения параметра в рабочий диапазон. Так работает большинство систем сигнализации.

В лаборатории автоматизации технологических процессов Волжского политехнического института (ВПИ) разработан принципиально новый блок сигнализации на базе микропроцессорной техники. На входе блока сигнализации устанавливается блок проверки на достоверность входной информации, исключающий формирование ложной сигнализации. Разработанный алгоритм сигнализации дополнен следующими функциями:

1) для аналоговых сигналов вводится гистерезис, величина которого в два-три раза больше предельной абсолютной погрешности измерительного канала;

2) по аналоговым входным каналам предусмотрена защита от обрыва, выброса и провала сигнала;

3) для входных дискретных сигналов предусмотрена защита от «дребезга»[1] и случайного кратковременного исчезновения дискретного сигнала;

4) осуществляет прогнозирование вероятного нарушения;

5) формирование признака перехода системы в активный режим работы;

6) в сложных случаях предусмотрен режим «Совет оператору».

Главной особенностью разработанного блока сигнализации является наличие блока прогноза. В блоке прогноза в режиме реального времени определяется средняя скорость изменения параметра, определяется разность между граничным значением и текущим, и по этой разности и средней скорости изменения параметра определяется время, через которое вероятно произойдёт нарушение установленных регламентом границ. Данное время сравнивается с временем реакции оператора, которое потребуется ему для устранения этого нарушения. Если прогнозируемое время нарушения становится равным (или меньше) времени реакции оператора, то формируется предупреждающая сигнализация.

Введён ещё один временной порог: время реакции системы. Время реакции системы – время, затрачиваемое системой на предотвращение нарушения или аварии. За это время формируются сигналы на закрытие или открытие задвижек, останов насосов, на закрытие или открытие отсекающих клапанов. Время реакции системы меньше времени реакции оператора. Если продолжает сохраняться тенденция к нарушению технологической границы и прогнозируемое время нарушения становится меньше времени реакции системы, то система переходит в активный режим. В активном режиме, уже без вмешательства оператора, система принимает решение, что закрыть, что включить или отключить, чтобы предотвратить нарушение технологической границы. Алгоритм принятия решения в зависимости от ситуаций разрабатывается при проектировании системы. Понятия время реакции оператора, время реакции системы, активный режим работы системы введены автором.

Для инерционных ОУ с наличием чистого запаздывания сигнала целесообразно использовать упредители [0].

Различные варианты блоков сигнализации были исследованы на микропроцессорном контроллере Ремиконт Р-130.

2. ДИСКРЕТНЫЙ И АНАЛОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ

По дискретным каналам вводится анализ и распознавание следующих ситуаций:

– «дребезг» состояния параметра;

– случайное кратковременное исчезновение сигнала;

– формирование команд с учётом взаимосвязи состояний, определяемых технологическим регламентом и накопленным опытом инженерно-технического персонала;

– формирование команд с учётом аварийных или нештатных ситуаций.

[1] Дребезг – случайное кратковременное формирование единичного дискретного сигнала (псевдонарушение).

После следующих блоков (рис. 1) ложная информация не должна поступать в систему контроля и регулирования:

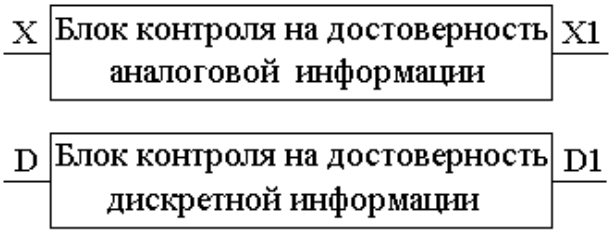


Рис. 1

На рис. 2 рассмотрены ситуации по аналоговому и дискретному каналам. По аналоговому каналу ситуация I соответствует обрыву в измерительном канале. Ситуация II представляет случайный выброс. Ситуация III представляет случайный провал сигнала. Усложнённый вариант алгоритма сигнализации учитывает и «замирание» сигнала. Под «замиранием» сигнала понимается значительное уменьшение разброса значений относительно текущего среднего значения сигнала (параметра). Разброс значений оценивают по среднеквадратическому отклонению. Кроме того, в этом случае изменяется и частотный спектр сигнала. По дискретному каналу рассмотрены две ситуации: «дребезг» сигнала и случайное кратковременное его исчезновение. На рис. 2, *а* показаны изменения сигнала *X* до блока и изменения сигнала *X*1 после блока. На рис. 2, *б* рассмотрены изменения состояния дискретного сигнала *D* до блока и состояние сигнала *D*1 после блока.

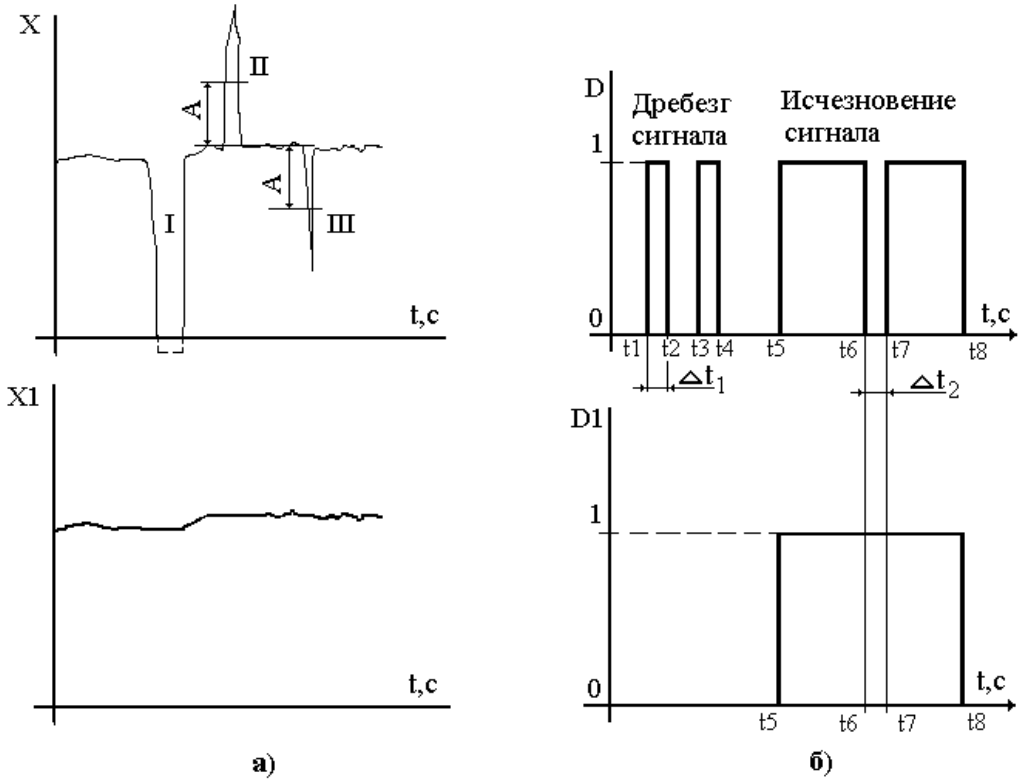


Рис. 2. Иллюстрация ситуаций по аналоговому и дискретному каналу

На рис. 3 показана структура комбинированного регулятора повышенной надёжности. Надёжность работы регулятора повышается за счёт исключения срабатывания регулятора при недостоверной входной информации [0]. Кроме того, анализируется также отработка сигнала регулирования.

Перечислим основные ситуации, которые рассмотрены выше и могут приводить к ложному формированию регулирующих воздействий: обрыв в измерительном канале, выброс или провал значения регулируемой переменной. Кроме того, при автоматическом регулировании возможен некорректный ввод задания. В связи с этим автор предлагает универсальную структуру комбинированного регулятора. Сам по себе закон регулирования может быть любым, от этого общая структура регулятора повышенной надёжности не меняется.

Общая структура регулятора повышенной надёжности имеет вид:

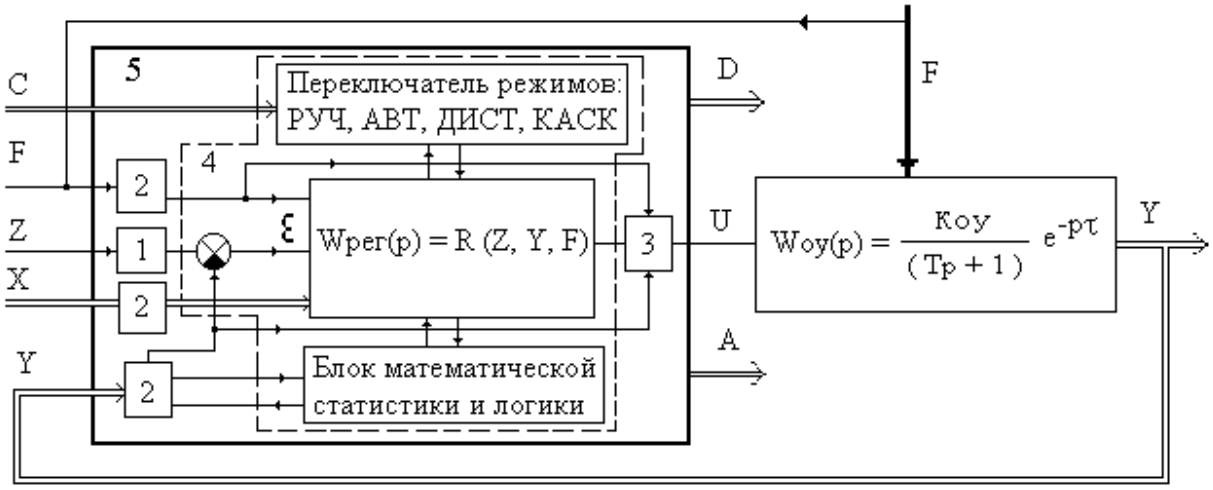


Рис. 3. Структура регулятора повышенной надёжности

C – команды переключения режимов.

F – контролируемое возмущение.

Z – задание регулятору.

X – настройки регулятора: постоянная времени экспоненциального фильтра, зона нечувствительности, ограничения сигнала регулирования по минимуму и максимуму (могут формироваться автоматически в процессе регулирования), задание настроек ПИД-регулятора.

Y – значение регулируемой величины.

U – сигнал регулирования (выходной сигнал регулятора).

ε – величина рассогласования.

A – сигнализация отказа регулятора.

D – дискретные состояния, подтверждающие режимы работы и признаки нарушений или отказов регулятора.

Wрег(р) – передаточная функция регулятора.

Woy(p) – передаточная функция объекта управления.

R(Z, Y, F) – закон регулирования.

Коу – коэффициент усиления ОУ.

Т – постоянная времени ОУ.

τ - время запаздывания.

1 - блок защиты от некорректного ввода информации.

2 - блок проверки на достоверность входной информации.

3 - блок контроля отработки управляющего воздействия.

4 – структура исходного регулятора.

5 - регулятор с блоками контроля и защиты.

⇒ – двойной линией обозначается векторная величина.

Команды переключения режимов (С):

РУЧ – ручной режим. Положение исполнительного органа изменяется оператором вручную, или по месту, или дистанционно;

ДИСТ – дистанционный режим регулирования;

АВТ – автоматический режим регулирования;

КАСК – каскадный режим регулирования;

ВКЛ – включить регулятор. Это состояние автоматически формируется, если выбран один из режимов: АВТ, КАСК.

Алгоритм блока защиты от некорректного ввода информации может быть следующим. Вводимое значение задания $Y_{ЗДН}$ проверяется на принадлежность допустимому интервалу. Обозначим верхнюю границу интервала символом $Y_{ВГ}$, а нижнюю границу символом $Y_{НГ}$. Обозначим величину задания на выходе блока защиты от некорректного ввода задания через $Y_{ЗАД}$. Если вводимое значение задания находится в допустимом интервале $X_{НГ} \le X_{ЗДН} \le Y_{ВГ}$, то $Y_{ЗАД} = Y_{ЗДН}$. Если $Y_{ЗДН} \le Y_{НГ}$, то $Y_{ЗАД} = Y_{НГ} + \Delta Y$. Если $Y_{ЗДН} \ge Y_{ВГ}$, то $Y_{ЗАД} = Y_{ВГ} - \Delta Y$.

Блок проверки на достоверность входной информации определяет, в первую очередь, обрывы, выбросы или провалы текущего значения регулируемой переменной. Основная задача данного блока – не допустить, чтобы ложное значение регулируемой величины поступило в регулятор. Зная инерционность ОУ по данному измерительному каналу, задают предельный порог (A) скачка значения параметра за единицу времени (например, за одну секунду). Примем следующие обозначения: Y_{i-1} – предыдущее значение параметра; Y_i – текущее значение параметра, A – пороговое значение, Y_k – текущее значение параметра на выходе блока, Y_{k-1} – предыдущее значение, D_k – сигнал отказа измерительного канала. В нормальном состоянии $|Y_{i-1} - Y_i| \le A$ и $Y_k = Y_i$. Обрыв определяется следующим образом: если $|Y_{i-1} - Y_i| \ge A$ и $Y_i \approx 0$, то эта ситуация воспринимается как обрыв. Если на входе АЦП имеем стандартный токовый сигнал от 4 до 20 mA, то после обрыва значение X_i будет отрицательным. Если произошёл обрыв, то значение на выходе блока остаётся неизменным $Y_k = Y_{k-1}$ и формируется дискретный сигнал отказа канала $D_k = 1$. В случае выброса или провала сигнала модуль разности предыдущего и текущего значения больше порога $|Y_{i-1} - Y_i| \ge A$. В этом случае текущее значение считают недостоверным. Выходное значение блока остаётся неизменным.

Блок контроля отработки управляющего воздействия контролирует, отрабатывает ли исполнительный механизм сигнал регулирования или нет. Допустим, сигнал управления с регулятора воздействует на расход какого-либо продукта. Алгоритм контроля отработки сигнала управления может быть следующим. Введём обозначения: U_{i-1} – предыдущее значение управления; U_i – текущее значение управления; F_i – значение расхода, соответствующее управлению U_{i-1}; F_{i+1} – значение расхода, соответствующее управлению U_i. Для контроля отработки управления вычисляют модуль разности сигналов управления $|U_i - U_{i-1}|$. Если модуль приращения управления больше заданной величины, то определяется знак произведения $(U_i - U_{i-1})(F_{i+1} - F_i)$. Если произведение больше нуля, то канал управления исправен. Если меньше нуля, то вероятен отказ канала управления.

Если по каким-либо причинам отказывает измерительный канал или канал управления, то автоматически формируется команда на переход регулятора в ручной режим и формируется соответствующий признак оператору.

В данном регуляторе предусмотрен безударный переход как по каналу отклонения Y, так и по каналу контролируемого возмущения. Под безударным переходом понимаем сохранение неизменным положения исполнительного механизма при переходе с автоматического регулирования на дистанционное или ручное и обратно. Суть алгоритма перехода с ручного или дистанционного режима управления на автоматический заключается в следующем. Введём обозначения: F_i – величина контролируемого возмущения; F_0 – начальное значение контролируемого возмущения перед переключением в автоматический режим (базовое значение). В дистанционном или ручном режиме работы должен включаться режим слежения, при котором $Y_{\text{ЗДН}} = Y_i$ и $F_0 = F_i$. Поэтому в момент включения автоматического режима величина рассогласования по каналу возмущения и по каналу отклонения будет равна нулю. Для исключения появления случайных малых величин рассогласования по каналу возмущения и по каналу отклонения устанавливаются свои зоны нечувствительности (ΔY и ΔF). Величина зоны нечувствительности зависит от погрешности измерительного канала и может быть оценена по формуле: $\Delta Y \approx 3\sigma_Y$; $\Delta F \approx 3\sigma_F$, где σ_Y – погрешность измерительного канала регулируемой переменной; σ_F – погрешность канала возмущения.

Вначале σ_Y и σ_F оценивают по паспортным данным технических средств измерительного канала. В процессе работы системы управления среднеквадратические отклонения можно оценивать по рекуррентным формулам с периодическим обнулением счётчика N.

$$\sigma_x^2 = S_x^2 = \frac{N-1}{N}\sigma_{n-1}^2 + \frac{N-1}{N^2}\left(X_n - \overline{X}_{n-1}\right)^2;$$

$$\overline{X}_{n+1} = \frac{N}{N+1}\overline{X}_n + \frac{1}{N+1}X_{n+1},$$

где X_n – контролируемая переменная; $\overline{X}$ – среднее значение переменной; Y^2 – оценка дисперсии переменной X; N – очередной шаг расчёта (счётчик).

ВЫВОДЫ

Предлагаемые алгоритмы сигнализации, контроля информации на достоверность, а также реализация регулятора с блоками контроля и защиты значительно повышают надёжность функционирования АСУ ТП.

Предлагаемая структура регулятора является типовой для любого закона управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Севастьянов Б.Г.* Программная реализация блока сигнализации на микропроцессорной технике // «Нефтепереработка и нефтехимия», № 10, 2007. – С. 43-45.

2. *Догановский С.А.*, *Иванов В.А.* Устройства запаздывания и их применение в автоматических системах // Машиностроение, 1966. – 280 с.

3. *Севастьянов Б.Г.* Безударность и надёжность систем автоматического регулирования // «ПиСУ», № 12, 2007. – С. 1-4.

МЕТОДИЧЕСКАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ КРИТЕРИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ СУПЕРВИЗОРНОМ УПРАВЛЕНИИ

Шевчук В.П. – д-р техн. наук, профессор
филиала «Московского энергетического института
(технического университета)» в г. Волжском
Мокичева Ю.В. – аспирантка
Московского энергетического института
(технического университета)

При оптимальном управлении крупномасштабными процессами и производствами применяют, как правило, супервизорный режим изменения управляющих воздействий. Для реализации супервизорного управления создаются специальные АСУ ТП, основным назначением которых является решение в реальном масштабе времени математической модели объекта управления и визуализация процесса принятия решения об изменении управляющих воздействий на диспетчерском мониторе [1]. При оценке качества функционирования таких виртуальных приборов возникает проблема количественной оценки погрешности измерения критериев управления технологическим процессом. Основной составляющей этой погрешности является методическая динамическая погрешность отработки информации в информационно-измерительных каналах системы управления. Эти измерительные каналы обладают свойствами автоматической настройки на конкретные пределы измерения технологических параметров и предназначены как для отображения информации, так и для поставки этой информации в алгоритм управления объектом. Поскольку алгоритмы управления содержат процедуры идентификации, требующие накопления

информации, то быстродействие информационно-измерительной системы (ИИС) должно быть приведено в соответствие с периодом нанесения управляющих воздействий T_y, что практически осуществимо посредством оптимального выбора периода опроса первичных преобразователей T_s.

Методическая динамическая погрешность измерительных каналов обусловлена свойствами аналоговых элементов, влиянием внешних воздействий, отличием частотных спектров программно обрабатываемых сигналов от частотных спектров реальных измеряемых сигналов и от свойств цифровых элементов системы. Супервизорное управление, как разновидность оптимального управления, по своей структуре напоминает систему автоматического регулирования, с той лишь разницей, что управляющее воздействие устанавливается в режиме «советчик оператору». На рис. 1 представлена структурная модель системы супервизорного управления на примере реализации градиентного метода поиска экстремума критерия управления – эффективность работы котлоагрегата [1].

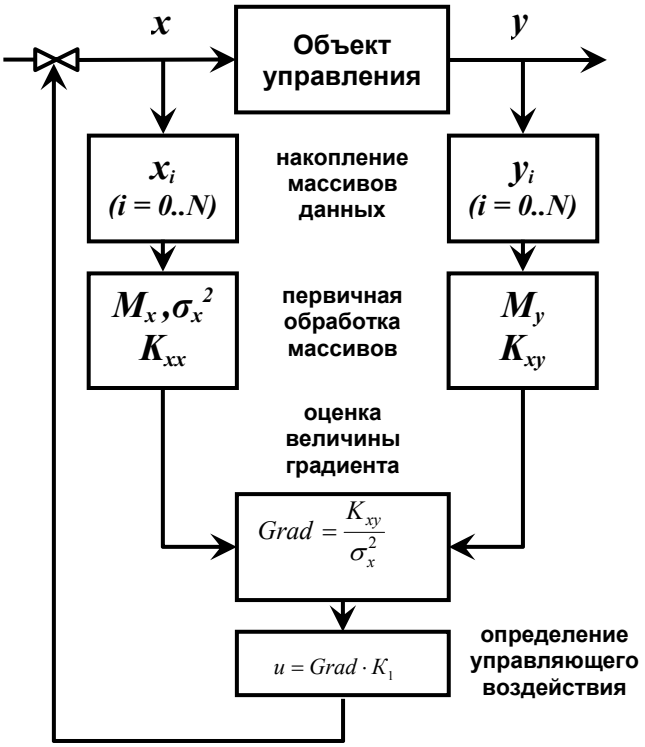


Рис. 1. Структурная модель системы супервизорного управления [1]

Структурную схему выделения методической динамической погрешности при этом можно представить так, как это изображено на рис. 2. На схеме $n(t)$ – помеха измерения, $hp(t)$ – весовая функция закона управления, $ho(t)$ – весовая функция объекта управления, $hн(t)$ – весовая функция аналогового канала измерения критерия управления, $hц(t)$ – весовая функция цифрового канала измерения критерия управления, $Yн(t)$ – текущее значение критерия управления, $Yц(t)$ – цифровой аналог текущего значения критерия управления, $E(t)$ – погрешность обработки информации.

Основным отличием цифровой схемы обработки измерительной информации от аналоговой обработки является наличие в структуре цифрового измерительного канала двух элементов, осуществляющих дискретизацию измерительного сигнала по времени. Аналого-цифровой преобразователь, который осуществляет мгновенный (дискретный) отбор измерительной информации из непрерывной реализации сигнала рассогласования, практически не вносит искажений в измерительный сигнал. Эта операция математически описывается как умножение измерительного сигнала, вместе с помехой, на периодизированную дельта-функцию:

$$X(nT_c) = (X(t) + n(t)) \cdot \delta(t - nT_c), \qquad (1)$$

где $(X(t) + n(t))$ – сигнал на входе в АЦП; $X(nT_c)$ – сигнал на выходе АЦП; T_c – время измерения сигнала (одна из метрологических характеристик АЦП).

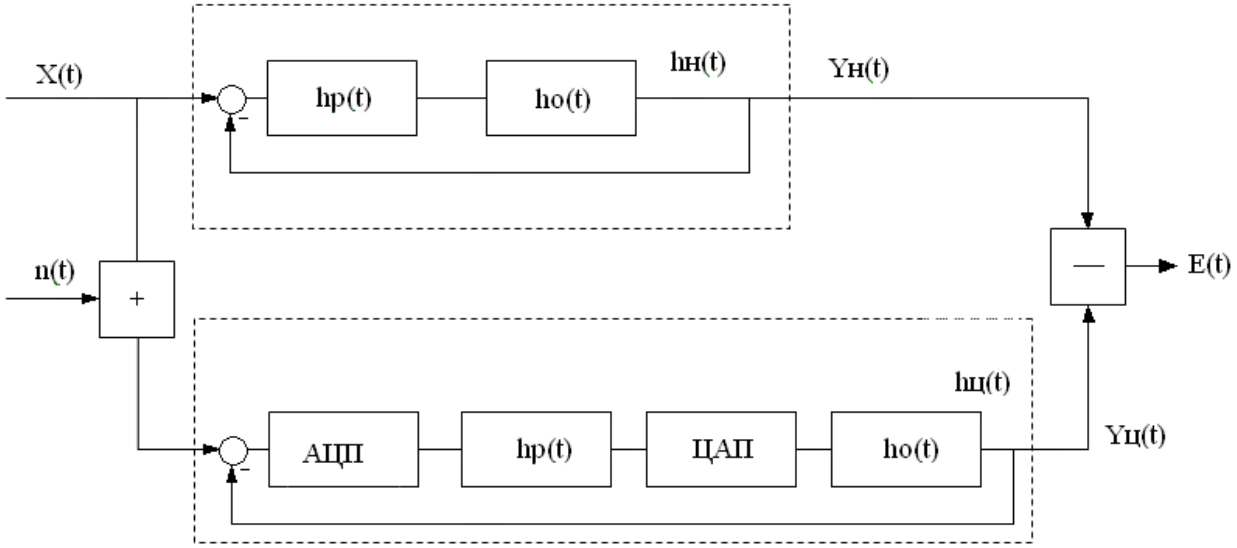


Рис. 2. Структурная схема выделения методической динамической погрешности

Второй элемент – это цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). Он осуществляет восстановление дискретной последовательности *Yц(nTs)*, которая формируется в вычислительном устройстве, в непрерывный сигнал ступенчатого вида, который и используется далее в модуле идентификации модели объекта управления. Динамические свойства ЦАП с достаточной степенью точности могут быть описаны весовой функцией восстанавливающего элемента нулевого порядка:

$$h_{\upsilon}(t) = \begin{cases} T_s^{-1} & \text{при} \quad 0 < t < T_s \\ 0 & \text{вне интервала} \end{cases} . \qquad (2)$$

Здесь T_s – период опроса датчиков.

Если обозначить весовую функцию аналоговой (эталонной) системы управления $hн(t)$, а весовую функцию замкнутой программно-аппаратной системы

управления – $hц(t)$, то фактический эффект воздействия аналоговой системы оптимального управления на исходный измеряемый случайный процесс следует рассматривать по отношению к результату, получаемому при воздействии программно-аппаратной системы оптимального управления на этот же сигнал. Таким образом, если известны динамические характеристики аналоговой системы и программно-аппаратной системы, то свойства ошибки управления $E(t)$ могут быть полностью описаны математической моделью (14), см. [2].

Согласно принятой схеме выделения погрешности весовая функция разомкнутой эталонной системы управления равна

$$h_{рн} = \int_0^\infty h_p(\tau) h_0(\nu - \tau) d\tau . \qquad (3)$$

Передаточная функция разомкнутой эталонной системы имеет вид

$$F_p(jf) = \iint_0 h_p(\tau) h_0(\nu - \tau) \exp(-j2\pi f\nu) d\nu\, d\tau. \qquad (4)$$

Выражение (4) позволяет записать передаточную функцию эталонной замкнутой системы управления в виде

$$Fз(jf) = \frac{\iint_0 h_p(\tau) h_0(\nu - \tau) \exp(-j2\pi f\nu) d\nu\, d\tau}{1 + \iint_0 h_p(\tau) h_0(\nu - \tau) \exp(-j2\pi f\nu) d\nu\, d\tau}. \qquad (5)$$

Откуда, весовая функция эталонной замкнутой системы принимает вид

$$h_н(\nu) = \int_0^\infty \frac{\iint_0 h_p(\tau) h_0(\nu - \tau) \exp(-j2\pi f\nu) d\nu\, d\tau}{1 + \iint_0 h_p(\tau) h_0(\nu - \tau) \exp(-j2\pi f\nu) d\nu\, d\tau} \exp(j2\pi f\nu)\, df. \qquad (6)$$

По аналогии с выражением (3) весовая функция разомкнутой программно-аппаратной системы равна

$$h_{рц}(\mu) = \int_0^\infty h_э(\tau) h_0(\mu - \tau)\, d\tau, \qquad (7)$$

где $h_э(\tau)$ – эквивалентная весовая функция программно-аппаратной системы. Весовая функция $h_э(\tau)$ может быть вычислена по соотношению

$$h_э(\tau) = \int_0^\infty h_{рд}(t) h_v(\tau - t) dt , \qquad (8)$$

где $h_v(\tau - t)$ – весовая функция цифро-аналогового преобразователя; $h_{рд}(t)$ – весовая функция дискретного регулятора, которая связана с весовой функцией непрерывного регулятора как

$$h_{p\partial}(t) = h_p(t)\sum_{n=0}^{N}\delta_T(t - nT_c)\,. \qquad (9)$$

Соотношения (8) и (9) позволяют записать (7) в виде

$$h_{pц}(\mu) = \int_0^{\infty}\int_0^{\infty} h_{p\partial}(t)\,h_v(\tau - t)\,h_0(\mu - \tau)\,d\tau\,dt\,. \qquad (10)$$

Передаточная функция разомкнутой программно-аппаратной системы равна

$$F_{pц}(jf) = \int_0^{\infty}\int_0^{\infty}\int_0^{\infty} h_{p\partial}(t)\,h_v(\tau - t)\,h_0(\mu - \tau)\exp(-j2\pi fq)\,d\tau\,dt\,dq\,. \qquad (11)$$

Отсюда передаточная функция замкнутой программно-аппаратной системы может быть выражена как

$$F_{pц}(jf) = \frac{\int_0^{\infty}\int_0^{\infty}\int_0^{\infty} h_{p\partial}(t)\,h_v(\tau - t)\,h_0(\mu - \tau)\exp(-j2\pi fq)\,d\tau\,dt\,dq}{1 + \int_0^{\infty}\int_0^{\infty}\int_0^{\infty} h_{p\partial}(t)\,h_v(\tau - t)\,h_0(\mu - \tau)\exp(-j2\pi fq)\,d\tau\,dt\,dq}\,, \qquad (12)$$

а весовая функция замкнутой программно-аппаратной системы управления примет вид

$$h_ц(\mu) = \int_0^{\infty}\frac{\int_0^{\infty}\int_0^{\infty}\int_0^{\infty} h_{p\partial}(t)\,h_v(\tau - t)\,h_0(\mu - \tau)\exp(-j2\pi fq)\,d\tau\,dt\,dq}{1 + \int_0^{\infty}\int_0^{\infty}\int_0^{\infty} h_{p\partial}(t)\,h_v(\tau - t)\,h_0(\mu - \tau)\exp(-j2\pi fq)\,d\tau\,dt\,dq}\exp(j2\pi f\mu)df\,. \qquad (13)$$

Тогда корреляционная функция ошибки обработки информации, согласно [2], примет вид

$$Ke(\tau) = \int_v\int_m h_н(v)h_н(m)Kx(\tau - m + v)dvdm - \int_v\int_m h_н(v)h_ц(m)Kx(\tau - m + v)dvdm -$$

$$-\int_v\int_m h_ц(v)h_н(m)Kx(\tau - m + v)dvdm + \int_v\int_m h_ц(v)h_ц(m)[Kx(\tau - m + v) + K_n(\tau - m + v)]dvdm\,. \qquad (14)$$

В большинстве современных систем оптимального управления блок идентификации математической модели основан на применении метода наименьших квадратов. Если допустить, что процедура формирования управляющего воздействия в системах супервизорного управления напоминает работу пропорционального закона управления, весовая функция которого имеет вид

$$h_p(t) = K_1\delta(t)\,, \qquad (15)$$

то для случая, когда весовая функция объекта управления по каналу управления описывается выражением:

$$h_0(t)=\begin{cases}\dfrac{A}{T_0}e^{-\frac{t}{T_0}} & \text{при } t\geq 0;\\ 0 & \text{при } t<0,\end{cases} \tag{16}$$

весовая функция разомкнутой эталонной системы равна

$$h_{рн}(t)=\frac{K_1A}{T_0}e^{-\frac{\upsilon}{T_0}}, \tag{17}$$

где K_1 – настроечный коэффициент пропорционального закона управления; A – коэффициент передачи объекта управления; T_0 – постоянная времени объекта по каналу управления.

Передаточная функция разомкнутой эталонной системы равна

$$F_{рн}(jf)=\frac{K_1A}{j2\pi fT_0+1}, \tag{18}$$

а передаточная функция замкнутой эталонной системы

$$F_{зн}(jf)=\frac{K_1A}{j2\pi fT_0+1+K_1A}. \tag{19}$$

Результат обратного преобразования Фурье от выражения (19) дает

$$h_н(t)=\frac{K_1A}{T_0}e^{\left\{-\left[(1+K_1A)/T_0\right]\upsilon\right\}}. \tag{20}$$

Эквивалентная весовая функция $h_э(t)$, согласно выражению (8 и 9), примет вид

$$h_э(t)=\frac{K_1}{T_s}\quad \text{при } 0<t<T_s, \tag{21}$$

где T_s – период опроса датчиков.

Отсюда следует, что весовая функция разомкнутой программно-аппаратной системы принимает вид

$$h_{рц}(\upsilon)=\frac{K_1A}{T_0}\left[\exp\left(\frac{T_s}{T_0}-1\right)\right]\exp\left(-\frac{\mu}{T_0}\right). \tag{22}$$

Преобразование Фурье от этой весовой функции и подстановка полученного выражения в (12) дает следующий результат:

$$F_{зц}(jf)=\frac{\dfrac{K_1A}{T_s}\exp\left(\dfrac{T_s}{T_0}-1\right)}{j2\pi fT_0+1}. \tag{23}$$

Результат обратного преобразования Фурье от данного выражения есть искомая весовая функция замкнутой программно-аппаратной системы вида

$$h_ц(t) = \frac{K_1 A}{T_s}\exp\left(\frac{T_s}{T_0} - 1\right)\exp\left[-\frac{K_1 A}{T_s}\exp\left(\frac{T_s}{T_0} - 1\right) - \frac{1}{T_0}\right]. \qquad (24)$$

Подстановка весовых функций $h_н(t)$ и $h_ц(t)$ в математическую модель формирования ошибки управления (14) дает следующий результат:

$$\begin{aligned}\theta = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_x^2} = \frac{A_1^2}{(C+\alpha)(C-\alpha)}\left[1 - E^{-(c+\alpha)T_s}\right]\left[1 - E^{-(c-\alpha)T_s}\right] - \\ - \frac{A_1 B}{(C+\alpha)(Д-\alpha)}\left[1 - E^{-(c+\alpha)T_s}\right]\left[1 - E^{-(Д-\alpha)T_s}\right] - \\ - \frac{A_1 B}{(Д+\alpha)(C-\alpha)}\left[1 - E^{-(Д+\alpha)T_s}\right]\left[1 - E^{-(c-\alpha)T_s}\right] + \\ + \frac{A_1 B}{(Д+\alpha)(Д-\alpha)}\left[1 - E^{-(Д+\alpha)T_s}\right]\left[1 - E^{-(Д-\alpha)T_s}\right],\end{aligned} \qquad (25)$$

где α – параметр, характеризующий скорость измеряемого сигнала;

$$A_1 = \frac{K_1 A}{T_0}; \quad B = \frac{K_1 A}{T_s}\left[E^{T_s/T_0} - 1\right]; \quad C = \frac{1 + K_1 A}{T_0}; \quad Д = \frac{K_1 A}{T_s}\left[E^{T_s/T_0} - 1\right] + \frac{1}{T_0}.$$

На рис. 3 (сплошная линия) представлена зависимость погрешности обработки информации в системе, полученная расчетом по математической модели (25), от относительного периода опроса датчика αT_s.

Достоверность полученных результатов можно проверить методом имитационного моделирования. В имитационной модели генератор входного сигнала осуществляет моделирование стационарного случайного процесса (полезного сигнала) с заданными статистическими характеристиками (математическим ожиданием и корреляционной функцией). Генератор формирует из последовательности независимых случайных чисел (реализации дискретного белого шума) с параметрами (0,1) $\xi(i)$ случайную последовательность, значения которой $x(i)$ равны значениям случайного сигнала $X(t_i)$ с корреляционной функцией $K_x(\tau) = D_x e^{-\alpha|\tau|}$ в моменты времени $t_i = it_0$:

$$x(i) = e^{-\alpha t_0} x(i-1) + \sqrt{D_x(1 - e^{-2\alpha t_0})}\,\xi(i), \qquad (26)$$

где α – скорость изменения входного сигнала; D_x – дисперсия входного сигнала.

В качестве источника дискретного нормального белого шума выступал генератор случайных чисел (ГСЧ), формирующий нормально распределенные случайные числа с нулевым средним и единичной дисперсией. Для формирования нормально распределенных чисел использовался так называемый прямой метод,

суть которого заключается в следующем. Формируется пара случайных величин (U_1, U_2) с равномерным распределением в интервале от 0 до 1. Тогда $X = \sqrt{-2\ln U_1}\,\cos 2\pi U_2$ образует нормальную случайную величину с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией. Динамика объекта управления описывается однородным дифференциальным уравнением первого порядка:

$$T_0 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = Ax(t), \tag{27}$$

где $x(t)$ – входной сигнал объекта управления; $y(t)$ – выходной сигнал объекта управления.

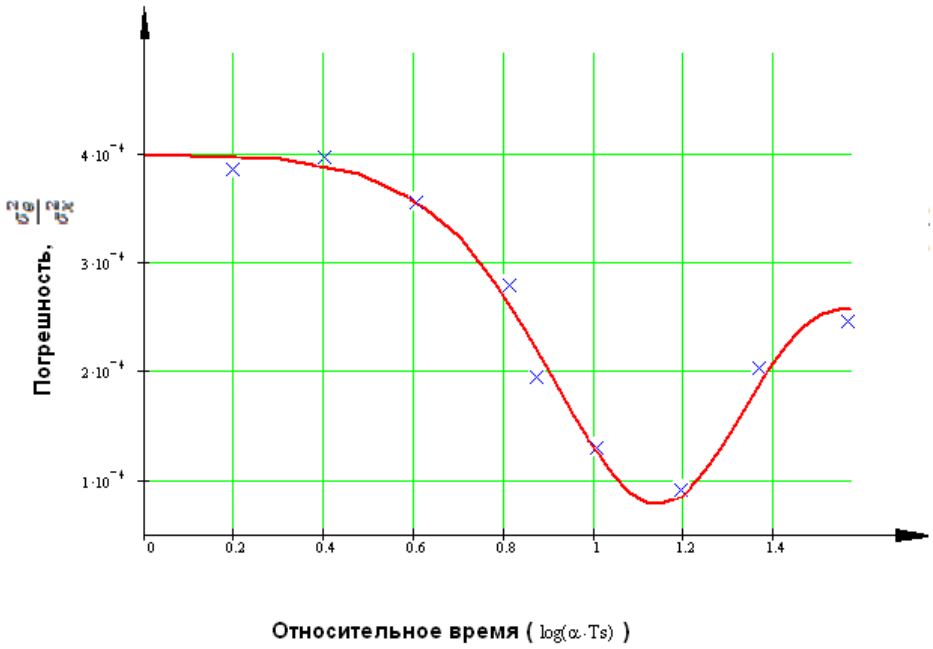


Рис. 3. Свойства методической динамической погрешности измерения критерия управления от периода опроса датчиков

Цифровой аналог объекта управления можно получить заменой производной в дифференциальном уравнении первого порядка ее дискретным представлением:

$$y(i) = y(i-1) + \frac{T_0}{T_c}\left(Ax(i) - y(i-1)\right), \tag{28}$$

где i – порядковый номер текущего значения обрабатываемого сигнала.

Имитация равномерной дискретизации во времени с периодом опроса датчиков T_s осуществлялась на алгоритмическом уровне и заключалась в том, что в определенные моменты времени, равные T_s, производился отбор значений. В соответствии со структурной схемой, представленной на рис. 2, составлена программа имитации процесса формирования погрешности обработки информации в процессе управления.

На рис. 3 представлены результаты проверки математической модели (25) на адекватность. Сплошной линией показаны результаты расчетов по математической модели (25), а крестиками показаны обработанные и сглаженные результаты имитационного моделирования.

Анализ результатов моделирования показывает, что в области малых значений αTs наблюдается плато с погрешностью отработки информации на уровне сотых долей процента. Увеличение периода опроса датчиков T_s приводит к снижению погрешностей обработки информации. Это сказываются фильтрующие свойства объекта управления и наличие обратной связи. Поэтому при проектировании супервизорных систем управления период нанесения управляющих воздействий T_y должен выбираться с учетом динамических свойств объекта управления:

$$T_y = NT_s,$$

где N – длина массива динамической характеристики объекта управления.

Проверка достоверности полученных результатов проводилась с помощью F-критерия Фишера. В частности, осуществлялась проверка равенства дисперсии D_v^i i-го моделируемого экспериментального случайного процесса $V(t)$, с величиной D_0 эталонного экспериментального случайного процесса. С этой целью вычислялось отношение

$$F = \frac{\max[D_0, D_v^i]}{\min[D_0, D_v^i]},$$

где $\max[D_0, D_v^i]$, $\min[D_0, D_v^i]$ – соответственно максимальная и минимальная из дисперсий эталонного и реального случайных процессов.

Вычисленное значение F сравнивалось с табличным $F_{\text{табл}}$ при данном для каждой дисперсии числе степеней свободы и избранном уровне значимости риска. Число степеней свободы для дисперсии D_0 принималось равным бесконечности, а для $D^i{}_v$ – длине массива моделирования. Во всех случаях имитационного моделирования $F < F_{\text{табл}}$, следовательно, различие между дисперсиями эталонного и моделируемого случайных процессов можно считать несущественным.

Таким образом, основной метрологической характеристикой процесса управления следует считать период управления T_y, при определении которого следует учитывать методическую динамическую погрешность процесса управления как количественную оценку качества алгоритмов управления, и в которой задействованы метрологические характеристики всех приборов, участвующих в выработке управляющего воздействия при супервизорном управлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шевчук В.П.*, *Грошев Н.А.* и др. Способ контроля текущей эффективности работы котлоагрегата. – Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. – № 6, 2007. – Стр. 53-57.

2. *Шевчук В.П.* Расчет динамических погрешностей интеллектуальных измерительных систем. – М.: Физматлит, 2008. – 288 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение…….. 3

Секция № 1

Моделирование объектов энергетики

Семишев Л.Н. Вопросы синтеза динамических систем с изменяемой структурой….. 5

Семишев Л.Н. Проблемы анализа упругих динамических систем с изменяемой структурой и их решение……... 11

Поляков В.С.*, *Поляков С. В. Моделирование процессов в энергетике композицией графов……... 15

Капля Е.В. Теоретическое и экспериментальное определение фото-ЭДС солнечной батареи…….. 21

Капля Е.В. Модель автоматической системы ориентации солнечной батареи... 25

Шевчук В.П.*, *Усманова С.Х. Математическое моделирование переходных процессов в кристаллизаторе……. 29

Секция № 2

Экологическая и энергетическая безопасность

Сошинов А.Г.*, *Галущак В.С.*, *Лебедева Ю.В.*, *Голованчиков А.Б. О возможных вариантах организации строительства ветроэлектростанций в Волгоградской области……. 33

Орлицкене И.А. Система подготовки кадров для энергопредприятий Волгоградской области: взгляд на региональное стратегическое партнерство вуза и бизнеса…….. 35

Одоевцева М.В., Малявко Ю.В., Объедкова Н.А.*, *Дылкина Н. Особенности проектирования схем обессоливания воды на основе мембранных технологий….. 40

Секция № 3

Электроэнергетика и электротехника

Ракутько С.А. Повышение коэффициента мощности как направление снижения энергоемкости энергетической системы потребителя. Способ и устройство для его осуществления…… 45

Лебедева Ю.В. Повышение надежности линий электропередачи в условиях гололедных нагрузок применением многогранных металлических опор…….. 48

Шевченко Н.Ю. Автоматизация воздушных распределительных электрических сетей напряжением 6-10 кВ……. 50

Шилин А.Н.*, *Карпенко О.И. Пути повышения надежности системы электроснабжения…….. 54

Хавроничев С.В.*, *Рыбкина И.Ю. Анализ современных тенденций в применении вакуумных выключателей…….. 59

Хавроничев С.В.*, *Костин М.Н. Анализ всхожести семян фасоли в результате воздействия на них электростатического поля…… 61

Панасенко М.В.*, *Ахмедова О.О.*, *Угаров Г.Г. Сравнительный анализ аккумуляторных и емкостных накопителей электроэнергии как элемента питания устройств информационно-измерительных систем мониторинга воздушных линий электропередачи…….. 63

Ахмедова О.О.*, *Панасенко М.В.*, *Сошинов А.Г. Озонаторные камеры и причины, приводящие к их разрушению……... 67
Шилин А.Н.*, *Качоровский А.Б.*, *Седов М.Н. Виброизмерения в энергетике…. 71
Зенина Е. Г.*, *Арванитаки Н.В.*, *Кременецкая Т.Л. Новые средства автоматизации релейной защиты сетей напряжением 6-10 кВ…….. 74
Шилин А.Н.*, *Арванитаки Н.В. Анализ энергетических потерь в асинхронных двигателях…… 77
Васильев П.Д.*, *Ветлицын Ю.А. Метод определения затрат электрической энергии на перекачку жидкости в протяженных системах водопровода…….. 81
Васильев П.Д.*, *Ветлицын Ю.А. Пути повышения эффективности применения преобразователей частоты для регулирования центробежных насосов…… 86
Зенина Е.Г. Особенности и проблемы преподавания электротехнических дисциплин в техническом вузе…….. 92

Секция № 4

Информационные технологии в энергетике и образовании

Гришин С.С.*, *Пивченко А.В. Современные методы и средства контроля температурных режимов…… 95
Гришин С.С.*, *Пивченко А.В. Переработка шлама металлорежущих предприятий……. 99

Секция № 5

Теплоэнергетика

Ягов В.В.*, *Грошев А.И.*, *Староверова Г.С.*, *Закожурников С.С. Экспериментальное исследование температурных полей различных зон печи при синтезе карбида кремния…… 102

Секция № 6

Автоматизированные системы управления

Шилин А.Н.*, *Гиркин М.В. Автоматизированная система синтеза и анализа цифровых фильтров в энергетике……. 106
Алёхин А.Г.*, *Кухтик М.П. Синтез оптимального управления режимом нагрева металла в методической печи…….. 109
Агринская С.А.*, *Филатова С.О. Адаптивное управление процессом ректификации…….. 112
Севастьянов Б.Г. Алгоритмы, повышающие надежность АСУ ТП……. 117
Шевчук В.П.*, *Мокичева Ю.В. Методическая динамическая погрешность измерения критерия оптимизации при супервизорном управлении……. 123

РЕСУРСО-ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ
И ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ

ВТОРАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

г. Волжский
23 – 26 сентября 2008 года

Сборник научных статей

Ответственный за выпуск *Мокичева Ю.В.*

Редакторы *Халдеева Г.П.*
Юрина В.В.

Подписано в печать 10.03.2009. Формат $60\times90_{1/16}$.
Печать ризографическая. Усл. печ. л. 8,3.
Тираж 100 экз. Заказ № 315.

Издатель Филиал ГОУ ВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
404110, г. Волжский, пр. Ленина, 69.
Отпечатано Филиал ГОУ ВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском
404110, г. Волжский, пр. Ленина, 69.