

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ТОМСКОЕ ПРОФЕССОРСКОЕ СОБРАНИЕ
СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
МЕЖДУНАРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ЭКОЛОГИИ И БЕЗОПАСНОСТИ
ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ ДЕВЯТНАДЦАТОЙ
ВСЕРОССИЙСКОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**«ЭНЕРГЕТИКА:
ЭФФЕКТИВНОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ»**



Томск - 2013

УДК 620.9+(621.311+621.039):504+621.039.058+621.311.019.3
Э65

Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность:
Э65 материалы XIX Всероссийской научно-технической конференции /
Томский политехнический университет. – Томск:
Изд-во ООО «Скан», 2013. – 851 с.

Настоящий сборник содержит материалы девятнадцатой Всероссийской научно-технической конференции “Энергетика: эффективность, надежность, безопасность”, проведенной 4-6 декабря 2013 г. на базе ГОУ ВПО НИ ТПУ. В пленарных и секционных докладах обсуждаются проблемы эффективности и безопасности электроэнергетических и теплоэнергетических установок и систем, вопросы энергосбережения и проблемы ядерной энергетики. Рассматриваются научные проблемы и задачи экологии и защиты окружающей среды, медико-биологические аспекты техногенного влияния среды на организм.

**УДК 620.9+(621.311+621.039):
504+621.039.058+621.311.019.3**

Редакционная коллегия:

Литвак В.В. (председатель), доктор технических наук, профессор ТПУ
Кузнецов Г.В., доктор физико-математических наук, профессор ТПУ
Панин В.Ф., доктор технических наук, профессор ТПУ
Сечин А.И., доктор технических наук, профессор ТПУ

*XIX научно-техническая конференция “Энергетика: эффективность,
надежность, безопасность” проводится по гранту РФФИ 13-08-06144-г.*

© ГОУ ВПО НИ ТПУ 2013
© Авторы 2013

Прогнозирование энергопотребления узла нагрузки с энергоемким нелинейным производством

Зайцева Н.М.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г.Томск
zaitzevns@mail.ru*

Актуальность темы. Важнейшим критерием управления энергосистемой является: определение объемов энергопотребления для подключения необходимых мощностей, производящих электроэнергию, или их отключения и поддержание равномерности электрической нагрузки в целом. Большинство энергосистем на территории РФ имеют в своей структуре мощные узлы нагрузки, представляющие собой крупные промышленные предприятия. При переходе к рыночным отношениям между производителями и потребителями электрической энергии задача определения объема энергопотребления предприятиями приобретает весомую экономическую окраску [1,2]. При этом, при оформлении договора купли-продажи электроэнергии (мощности) необходимыми приложениями являются: «Заявка на плановый объем потребления электрической энергии и максимальной мощности» и «Заявка на плановое почасовое потребление электрической энергии».

Потребление электроэнергии предприятий с линейным дискретным производством прямо пропорционально производимой продукции, и для его определения могут быть использованы модели и методы, основанных на статистике. Для ряда нелинейных инерционных и нелинейных многономенклатурных производств эта зависимость весьма сложная, и из-за их особенностей воспользоваться регрессионными моделями не представляется возможным, поэтому решение данной задачи должно основываться на детерминированных моделях производственного процесса, основанных на материальном балансе.

При этом, необходимо учитывать, что одним из основных критериев при управлении подобными предприятиями, как и любыми другими, является минимизация себестоимости выпускаемой продукции при постоянном изменении внешних воздействий: больших вариаций в выборе поставщиков сырья и энергоресурсов, а так же соотношений цен на последние, а в качестве дополнительных критериев могут быть выдвинуты и минимизация затрат электроэнергии, минимизация отходов и т.п. Ввиду нелинейности рассматриваемого производства переход на оптимальный (с точки зрения себестоимости) режим может вызвать резкое увеличение или уменьшение энергопотребления, что необходимо учитывать при составлении почасовых графиков потребления электроэнергии.

Очевидно, что для решения такой сложной задачи требуется разработка инструментария для ЛПР (лиц, принимающих решение), основанного на базе знаний о данном производстве, способного решать оптимизационные задачи при поиске стратегии управления им и определения его энергопотребления в различных режимах, а также для выработки стратегии, позволяющей выравнять электрическую нагрузку энергосистемы, в которой функционирует данное предприятие.

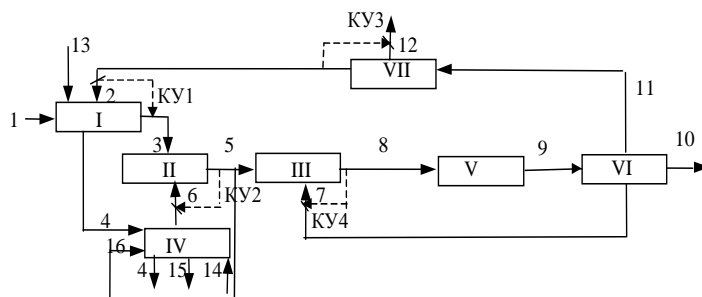


Рис. 1. Принципиальная структура статической модели производства

Решение поставленной задачи предлагается на примере глиноземного производства, являющимся нелинейным инерционным и замкнутым [3], для которого была разработана упрощенная статическая модель (МП). Все производство было представлено в виде семи блоков, образующих технологический цикл Байера (рис. 1). Блок I – выщелачивание боксита, блок II – разбавление бокситовой пульпы щелочной водой с промывки шлама, блок III – смешение пульпы с затравочным глиноземом, блок IV – блок промывки шлама с целью извлечения щелочи, блок V – разложение пульпы с получением глинозема, блок VI – разделение на щелочной раствор,

продукционный и затравочный гидрат, VII – выпаривание оборотного щелочного раствора до требуемой концентрации. Модель имеет четыре контура управления (КУ1-КУ4), с помощью которых поддерживается концентрационный режим технологических переделов. Входные и выходные потоки семи блоков-переделов производства обозначены на схеме оцифрованными стрелками.

В основу моделирования j -тых блоков-переделов ($j=I, II, \dots, VII$) положены нелинейные алгебраические уравнения материального баланса, записываемые для всех i -тых потоков ($i=1, 2, \dots, 16$), проходящих через моделируемый блок:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{16} K_{ij} \cdot B_i \cdot G_i \cdot F_i = 0 & \quad \sum_{i=1}^{16} L_{ij} \cdot A_i \cdot G_i \cdot F_i = 0 \\ \sum_{i=1}^{16} H_{ij} \cdot F_i \cdot G_i = 0 & \quad \sum_{i=1}^{16} I_{ij} \cdot F_i = 0 \\ \sum_{i=1}^{16} J_{ij} \cdot F_i \cdot D_i = 0 & \quad M_i = 1.645 \cdot \frac{B_i}{A_i} \end{aligned}$$

где F_i - расходы растворов, D_i - плотности растворов, H_{ij} - весовое соотношение жидкого к твердому, A_i и B_i - концентрации жидкой фазы Al_2O_3 и Na_2Ox соответственно, G_i - концентрации твердой фазы Al_2O_3 , I_i , K_i , L_i - функции i -го потока, имеющие положительное значение, если поток входящий, и отрицательное, если выходящий и равные 0, если данный поток не проходит через моделируемый блок.

В основу моделирования блока V (кинетики перехода оксида алюминия из раствора в твердую фазу) положено кинетическое уравнение 2-ого порядка:

$$\frac{dA}{dl} = -R_d \cdot K_d \cdot (A - A_p)^2$$

где A - концентрация оксида алюминия в растворе, A_p - его равновесная концентрация, l - длительность процесса разложения, K_d - константа скорости реакции. Величины K_d и A_p имеют экспоненциальную зависимость от показателей состава раствора и его температуры.

$$P = K_3 \cdot \sum_{i=1}^{16} K_{i3} \cdot F_i$$

Энергопотребление всего производственного кольца рассчитывается по формуле: Здесь K_{i3} – коэффициенты распределения затрат электроэнергии вдоль гидрохимического кольца (кВт.ч/ед.изм.Ф), их значения определяются мощностями приводов, насосов, мешалок и т.п. K_3 поправочный коэффициент, отражающий долю не учтенных затрат электроэнергии.

Полученная модель имеет входные величины X , определяемые наличием четырех контуров управления (см. рис.1) КУ1-КУ4, контролируемые внешние воздействия Z (состав боксита, температура в декомпозиерах и т.п.) и выходные P (энергопотребление) и Y (концентрационные параметры производства).

Из выходных величин Y были выделены 3 значения, нуждающиеся в идентификации. Для соответствия их рассчитываемых значений реальным введены три идентификационных параметра, представляющие собой вектор идентификации модели U , и определен идентификационный критерий, позволивший реализовать алгоритм автоматической идентификации одним из методов: случайного поиска или градиентного спуска. После идентификации модели расхождение расчетных значений с реальными не превышало 2%.

Ввиду нелинейности глиноземного производства при переходе на другие технологические режимы может произойти резкое увеличение или уменьшение энергопотребления. Поэтому была разработана динамическая модель производства (МД), где структура производства, изображенная на рис.1, была изменена следующим образом: блок V был заменен последовательностью блоков, имитирующих работу аппаратов-декомпозиеров, описываемых системой дифференциальных уравнений. Помимо этого модель производства была дополнена обобщенной буферной емкостью.

Так как полученная модель содержит системы нелинейных алгебраических и дифференциальных уравнений, которые решались с помощью численных методов, то была произведена оценка ошибки модели. При моделировании на отрезке времени в 100 часов погрешность решения составила 3%, что вполне удовлетворяет цели разработки модели. В

результате были получены графики изменения энергопотребления при переходе на другие технологические режимы. Два из них представлены на рисунке ниже.

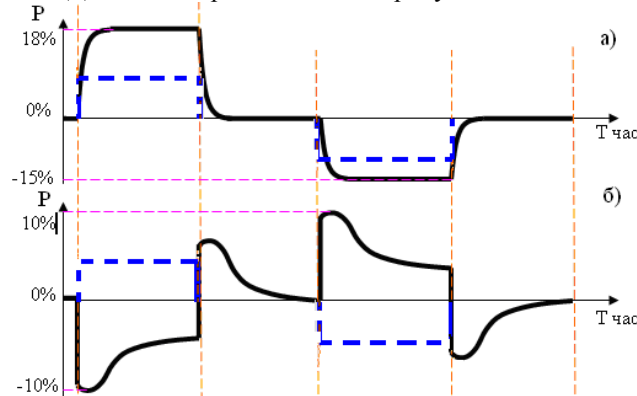


Рис.2. Реакция изменения энергопотребления P (сплошная линия) глиноземного производства при скачкообразном изменении (пунктирная линия) на 6% параметров относительно номинальных значений: каустического модуля М3(а), и содержания затравочного гидрата(б). Цена деления оси абсцисс – 120 часов

Для решения задачи определения стратегии управления предприятием в современных условиях рынка разработана модель оперативного управления(МОУ) в зависимости от цен на энергоресурсы и сырье[4]. Для глиноземного производства минимизация себестоимости осуществляется путем корректировки заданных концентрационных режимов участков. Себестоимость вычисляется с помощью выражения:

$S = C \cdot Q(X) \rightarrow \min$, где $Q(X) = \{Q_6, Q_n, Q_k, Q_3\}$ - вектор-столбец расходных коэффициентов (боксит, пара, каустика и электроэнергии соответственно) сырья и энергоносителей на 1 тонну глинозема, определяемых формулами (1), $C = \{C_6, C_n, C_k, C_3\}$ - вектор-строка соответствующих цен, которые в современных условиях характеризуются нестабильностью.

$$Q_6 = K_6 \frac{F_1}{0.629F_{10}}, \quad Q_n = K_n \frac{K_{вып} F_{12}}{0.629F_{10}}, \quad Q_k = K_k \frac{F_{13}}{0.629F_{10}}, \quad Q_3 = K_3 \sum_{i=1}^{16} \frac{K_{эi} F_i}{0.629F_{10}} \quad (1)$$

Здесь $K_{вып}$ - коэффициент расхода пара на 1м3 упаренной воды (Гкал/м3). $K_{эi}$ - коэффициенты распределения затрат электроэнергии вдоль гидрохимического кольца (кВт.ч/ед.измерений F), их значения определяются мощностями приводов насосов, мешалок и т.п. K_6, K_n, K_k, K_3 - поправочные коэффициенты, отражающие долю не учитываемых моделью затрат боксита, пара, каустика, электроэнергии и погрешности моделирования влияния концентрационного режима на составляющие себестоимости.

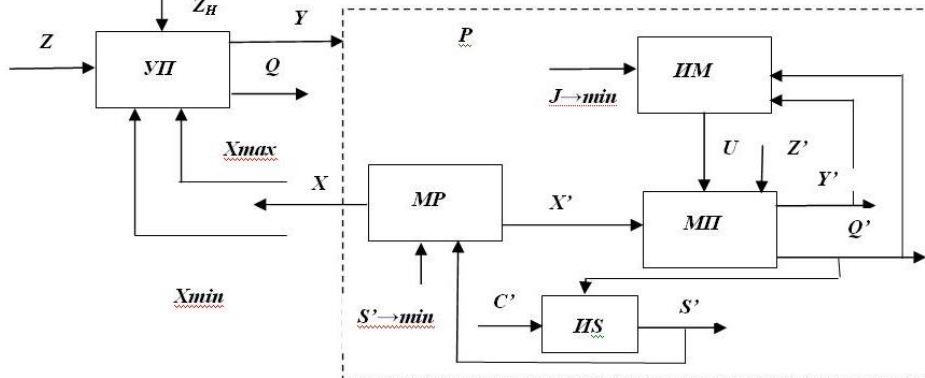


Рис.3. Структура модели оперативного управления производством(МОУ)

На рис.3 блоком УП обозначено собственно производство, X- вектор режимных параметров, Xmin, Xmax- допустимый диапазон его изменения, Z- контролируемые, ZH - неконтролируемые внешние воздействия, Y - вектор выходных параметров, Q- вектор расходных

коэффициентов, Р -регулятор (на рисунке он выделен пунктирной линией), МП – статическая модель производства, X', Z'- оценочные значения параметров производства и контролируемых внешних воздействий соответственно, Y', Q'- вектора выходных параметров и расходных коэффициентов соответственно, вычисляемые с помощью модели, ИМ – блок идентификации модели, J – критерий идентификации, U – вектор идентификационных коэффициентов модели, IS – блок расчета себестоимости, C' – вектор оценочных значений цен, S'- оценочное значение себестоимости, МР- блок моделирования параметров производства, S'→min – критерий выбора параметров.

Выводы

Предлагается следующая стратегия повышения эффективности функционирования подобных предприятий, являющихся мощными узлами нагрузки:

1) определение оптимального, с точки зрения себестоимости, режима функционирования предприятия с помощью модели МОУ,

2) расчет объема энергопотребления производством при этом режиме с помощью статической модели (МП),

3) определение с помощью модели МД и на основе тарифов на электроэнергию в разное время суток почасового потребления электроэнергии.

Список литературы:

1. Постановление Правительства РФ от 27.12.2010г. № 1172 «Об утверждении правил оптового рынка электрической энергии и мощности и о внесении изменений в некоторые акты правительства российской федерации по вопросам организации функционирования оптового рынка электрической энергии и мощности».
2. Постановление правительства РФ от 4.05.2012 г. № 442 (ред. от 29.12.2011) «Основные положения функционирования розничных рынков электрической энергии»
3. Зайцева Н.М. Выравнивание графика электрической нагрузки для глиноземного производства. // Промышленная энергетика. 2012. № 8.
4. Зайцева Н.М. Оперативное управление нелинейным инерционным энергоемким производством // Журнал «Проблемы энергетике» № 1-2 2012г, Россия, г.Казань.

О сокращении номенклатуры показателей надежности цифровых устройств релейной защиты

Захаров О.Г.

НТЦ «Механотроника»

zaharov_og@mtrele.ru

Обоснована возможность исключения из нормативных документов показателей надежности, в названии которых использованы слова «требование на срабатывание».

В отношении цифровых устройств релейной защиты до настоящего времени действует руководящий документ [1], утвержденный в 1997 году, базирующийся на требованиях разработанного практически за 10 лет до этого стандарта [2].

Из множества показателей надежности цифровых устройств релейной защиты, зафиксированных в [1], обратим внимание на те, в названии которых использованы слова «требование на срабатывание»:

- средняя вероятность отказа в срабатывании устройства за год (при появлении требования);

- параметр потока ложных срабатываний устройства в год (при отсутствии требования).

Следует отметить, что в технической и нормативной литературе определение понятия, обозначаемого термином «требование на срабатывание» отсутствует.

Эти два показателя можно встретить практически во всех работах по надежности цифровых устройств релейной защиты, а также в других работах, например посвященных надежности пожарных извещателей.

Выбирая любое из рекомендованных значений того или иного показателя и фиксируя их в технических условиях на изделие [5, 6], разработчик и производитель должны предусмотреть методику оценки их фактических значений.

Рассмотрим сами показатели подробнее. Первый из двух рассматриваемых показателей, характеризует совмещение двух независимых событий:

Снижение потерь электроэнергии путем поперечного регулирования напряжения в кольцевых сетях <i>Р.Ф. Галиев</i>	53
Проверка гипотезы о нормальном распределении генеральной совокупности по критерию Пирсона <i>С.В. Голдаев, К.Н. Радюк</i>	57
Силовые коммутационные транзисторы на основе нитрида галлия для высокоэффективных вторичных источников электропитания <i>Ерофеев Е.В., Кагадей В.А. *, Казимиров А.И., Федин И.В.</i>	59
Прогнозирование энергопотребления узла нагрузки с энергоемким нелинейным производством <i>Зайцева Н.М.</i>	62
О сокращении номенклатуры показателей надежности цифровых устройств релейной защиты <i>Захаров О.Г.</i>	65
Децентрализованные системы энергообеспечения <i>Золотов В.П.</i>	70
Разработка вакуумного выключателя с жидкометаллической контактной системой <i>Иванов Н.А. Казанцев А.А.</i>	72
Методика оценки комплексной эффективности использования ресурсов энергетическими предприятиями по экологическим критериям <i>Гаврилова А.А., Салов А.Г., Иванова Д.В., Чиркова Ю.В.</i>	74
Подготовка специалистов для предприятий электроэнергетики с применением деловых игр <i>Калани Э.Я.</i>	76
Разработка мини-ГЭС на базе синхронного генератора с постоянными магнитами <i>Карачев В.С., Алеко М.Н.</i>	79
Методика определения расхода воды при проектировании малых ГЭС на горных водотоках Таджикистана <i>Киргизов А.К., Касобов Л.С. *, Расулов С.</i>	82
Режим загрузки резервного источника питания <i>Кирпиков А.В., Обоскалов В.П.</i>	84
Моделирование систем автоматического регулирования возбуждения генераторов <i>Киселев Д. Н, Ершов Ю. А.</i>	87
Электромагнитная совместимость работы частотно-регулируемого электропривода с установками компенсации реактивной мощности <i>П.В. Коровченко, О.И. Цинкович</i>	89
Кабельная арматура в электроэнергетике <i>Кузьменко А.Е., Федюк Р.С., Ильинский Ю.Ю.</i>	92
Распределение мощности и электроэнергии для различных иерархических систем <i>Курбака Г. В.</i>	94